26e ANNÉE. N° 101. REVUE MYCOLOGIQUE JANVIER 1904
Editeur : C. Roumeguère, rue Riquet, 37, Toulouse.
Rédacteur : Dr R. Ferry, Avenue de Robache, 7, St-Dié (Vosges).

SUR LES

MYCORRHIZES DES ARBRES FORESTIERS

ET SUR LE

SENS DE LA SYMBIOSE DES RACINES

Par M. Georg F.-L. Sarauw (de Copenhague).

(Suite et fin)

Comme nous l'avons dit plus haut, les racines des plantes les plus jeunes dans les pépinières sont souvent exemptes de champignons. Parmi les Bétulacées et les Salicacées comme chez l'*Ulmus*, on trouve assez souvent l'absence de la symbiose et celle-ci est extrêmement rare pour le *Fraxinus excelsior* et l'*Æsculus Hippocastanum* (1). Peut-on découvrir chez ces espèces quelque infériorité de croissance comparativement aux arbres pourvus de mycorrhizes?

Nullement et nulle part. Au contraire, comme l'on sait, les espèces que nous venons de citer, comptent justement entre celles qui poussent le plus vite, pendant que le chêne, le hêtre et le charme sur le même sol et sous les mêmes conditions de croissance, restent en arrière.

Pour les racines entre elles, les choses se passent de même. Les racines possédant la plus grande intensité de croissance abandonnent le champignon et se développent alors le plus vigoureusement, tandis que les courtes racines en deviennent et en restent la proie. Si la racine est blessée, la plante cherche à réparer le dommage en poussant de nouvelles racines adventives qui possèdent, on le sait, une intensité de croissance extraordinaire. Or, ces racines restent libres du champignon, même entourées de tout côté de mycorrhizes. C'est ce que l'on peut voir dans la figure 4 de la planche CCXXXVI : Ici j'ai représenté une racine latérale d'un plant de Pesse, *Picea excelsa*, âgé de 3 ans, dont la pointe a été coupée par une larve de hanneton (*Melolontha vulgaris*). Près de la blessure, en *a*, se sont développées en

(1) Parmi les Orchidées possédant en général de belles mycorrhizes endotrophiques, il y a également plusieurs genres qui en sont dépourvus (*Cypripedium, Epipactis, Listera*). Les tissus de la racine mettent des bornes à l'invasion du champignon. Voir ma thèse, p. 211.

touffe cinq racines adventives, *r*, très grosses avec des poils radicaux et avec coiffe mais sans gaine mycélienne. Sur les autres racines, surtout sur leurs plus jeunes ramifications, *s*, il existe au contraire une gaine mycélienne.

Les facteurs physiologiques extérieurs à la plante, tels que le sol, l'humus, l'eau, l'air, etc., étant pareils ici pour toutes les racines, n'ont pu produire cette différence qui ne peut dès lors avoir qu'une cause intérieure. Les plus jeunes rameaux des racines les plus âgées, s'étendant près de la surface du sol, sont surtout très lents à croître et par suite sont envahis et enlacés beaucoup plus facilement par le champignon. Celui-ci n'est pas invité par la racine, la plante elle-même ne reconnait pas l'utilité de la symbiose.

Un autre exemple vient aussi nous éclairer sur ce point.

Un plant de hêtre âgé d'environ 15 ans attaqué par le parasite pernicieux *Polyporus* (*Trametes*) *radiciperda* (Hartig) faisait des efforts désespérés, pour se débarrasser de ce fléau, en poussant vite du bas du tronc des racines adventives longues et larges (1), pourvues de coiffe et de nombreux poils radicaux. L'arbre ici, repoussant les filaments mycéliens luxuriants du sol humeux, n'attendait pas évidemment de la symbiose de l'autre champignon innocent associé dans ses mycorrhizes un vrai secours, qui dans sa calamité lui aurait été extrêmement utile. Il lui a fallu se secourir lui-même en formant des racines non mycorrhizes, propres à lui fournir plus vite la nourriture indispensable à sa vie.

En ce qui concerne l'influence du sol, dans les recherches qu'on a fait, celui de l'humus a été mis au premier plan.

M. Frank, en 1885, avança son hypothèse de la symbiose dans laquelle, selon lui, le champignon amène à l'arbre, outre l'eau et les sels minéraux, aussi des matières organiques tirées de l'humus.

Avec Frank, il faut bien affirmer que la formation des mycorrhizes dépend de l'existence de l'humus dans le sol, mais certainement, l'illustre savant a eu tort en prétendant que le développement des mycorrhizes est proportionnel à la teneur du sol en matières organiques (2).

Au contraire, la quantité d'humus indispensable à la formation des mycorrhizes est extrêmement mince, et dans des sols presque dépourvus d'humus on trouve partout des mycorrhizes largement développées.

Les belles et vastes forêts de Pin sylvestre, tout autour de Berlin, poussent sur un sol très maigre en humus, le « sable de

(1) De telles racines adventives disposées en faisceau sont excellemment figurées par E. Rostrup : *Plantepatologi*. Copenhague, 1902, p. 363, fig. 148. Aussi il les a signalées le premier aux forêts de Danemark, où le phénomène est assez commun.

(2) Voir *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft. Jahrgang* 1885. Band 3. p. XXXII; *Jahrgang* 1888, Bd. 6, p. 251.

la Marche Brandebourg ». Si l'on suit ici un des chemins creux traversant la forêt, on aperçoit sur la pente des talus tout une série de mycorrhizes nettoyées par les eaux pluviales, et si l'on gratte un peu le sable jaune de la paroi, on verra pendre du plafond de la petite caverne ainsi creusée les mycorrhizes les plus belles auxquelles un enduit de sable est fixé par des filaments mycéliens innombrables.

Le même développement abondant des mycorrhizes des Conifères, je l'ai trouvé dans les landes et dans les terrains à sable mouvant du Danemark comme de l'Allemagne du Nord. Notamment le sable mouvant des dunes est extrêmement pauvre en humus, mais pourtant on y trouve des quantités de mycorrhizes à gaines mycéliennes hérissées très fortes (1).

En France, M. Vuillemin a constaté aussi que la terre sablonneuse de bruyères est favorable aux mycorrhizes. Dans certains bois de Pins du grès vosgien, dont le sol maigre portait surtout des bruyères et des débris accumulés de mousses, les mycorrhizes du Pin étaient constantes (2). De même, j'en ai constaté l'abondance dans les terrains rocheux ou sablonneux des forêts de Fontainebleau.

Déjà, en 1878, Gibelli commença ses expériences de culture pour étudier le développement des mycorrhizes d'après la saison et la constitution minérale du sol et les poursuivit les années suivantes ; il en publia les résultats en 1879 et 1883 : la gaine mycélienne se développe dans toutes les espèces de sol, toutefois à des degrés différents.

J'ai continué les recherches de Gibelli, d'après la méthode de culture de Frank et dans son laboratoire, avec le hêtre, le bouleau et l'épicéa. Ces cultures avaient pour but de rechercher l'influence du milieu, l'action des divers espèces d'humus et de sable, des sols stérilisés et non stérilisés. Le résultat de ces recherches n'est pas encore publié ; en général, je me borne à indiquer ici que la formation des mycorrhizes n'est influencée que d'une manière quantitative et non qualitative par les différentes sortes de sols.

Tout nouvellement, M. Alfred Möller, — dont les études sur les Lichens ont puissamment contribué à démontrer la symbiose entre les champignons et les algues, constituant le composé biologique nommé « Lichen », une des plus grandes conquêtes de la science de nos jours, — vient d'organiser des cultures parallèles semblables du Pin sylvestre dans différentes sortes de sols (3). Cette série

(1) Voir ma thèse, p. 182, 196.

(2) Vuillemin, Les Mycorrhizes, *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1re année, 1890. Paris, in-4°, p. 327.

(3) *Zeitschrift für Forst-und Jagdwesen*, année 34, Berlin, 1902, p. 197-215, avec pl. I-II. Les expériences ont été faites, dès le printemps de 1900, à la station principale d'expériences forestière de la Prusse à Eberswalde.

d'expériences est faite d'après un plan et d'après un système tout à fait analogue aux miens ; enfin les sols sont pris dans la forêt, à Eberswalde (près Berlin), sur la même localité que ceux de mes cultures. Aussi, en ce qui concerne le développement des mycorrhizes dans ces cultures artificielles, nos résultats concordent aux points de vue essentiels. Pour ce motif, je puis renvoyer le lecteur à sa notice préliminaire et à ses figures. Comme nos cultures artificielles s'écartent considérablement des conditions naturelles, il n'est pas permis d'en tirer des conclusions pour la pratique. Aussi, en même temps, j'ai fait des cultures parallèles dans une pépinière dans la forêt (« Pfeilsgarten » à Eberswalde) et, avant tout, j'ai fait des recherches sur les stations différentes de la forêt elle-même : voilà le point le plus essentiel de tous, ce qu'il ne faut pas oublier.

De ses expériences fondamentales, Frank, on le sait, a tiré la conclusion que le champignon est indispensable à son hôte et que les mycorrhizes, mieux que les racines exemptes de champignons, sont à même d'utiliser les matériaux azotés, notamment l'azote organique de l'humus.

Evidemment cette hypothèse est fondée sur ce fait qu'en général les champignons trouvent un aliment convenable dans l'azote organique et, d'autre part, sur l'idée qu'on se fait ordinairement de l'incapacité de l'arbre de s'alimenter de la même manière que le champignon.

Disons ici quelques mots seulement sur ce dernier problème qui est important.

Quand la jeune racine formée dans le péricycle de la racine-mère se fraie un passage à travers l'écorce de la racine qui lui donne naissance, cela a lieu, non pas, comme on le croit habituellement, par la rupture des tissus qu'elle rencontre sur son chemin, mais bien par une véritable digestion qui s'opère à l'aide d'un ferment sécrété par sa poche digestive (Van Tieghem) et capable de dissoudre et de décomposer les tissus avec leur contenu, l'amidon, le plasma, la cellulose, etc. (1). Si la radicelle rencontre sur son passage la gaine mycélienne de la racine qui lui a donné naissance, celle-ci résiste aux ferments de la jeune racine, se soulève autour d'elle et s'accroît en même temps ou, si elle vient à éclater, elle enlace de ses hyphes libres la nouvelle venue et lui tisse une gaine de nouvelle formation. Le champignon n'abandonne donc pas la racine, mais il la suit au contraire comme un revêtement dans toutes ses ramifications. Les racines ne peuvent s'en délivrer que par la rapidité de leur croissance en longueur. C'est ainsi que toute la surface de la racine se trouve enveloppée sans interruption par une gaine mycélienne épaisse et, comme une très petite

(1) Voir ma thèse, p. 194.

portion du système des racines reste exempte de champignon, il arrive nécessairement que presque toute la nourriture provenant du sol à l'arbre lui est fournie par l'intermédiaire du champignon. Que cette symbiose soit un fait général, se rencontrant en tous lieux et à tout âge, c'est ce que m'ont démontré les récoltes que j'ai faites dans les contrées, les plus variées, en Danemark, en Allemagne et en France, les mycorrhizes se formant aussi bien sur les sols bons, riches en humus, que sur ceux qui sont les plus pauvres.

Mais, pour y revenir, si la radicelle naissante ne rencontrait pas à son passage la gaine mycélienne de la racine-mère et si le champignon ne s'ingérait pas dans ses affaires, ne serait-elle pas capable d'entrer en concurrence avec le champignon pour l'absorption des matières organiques du sol ?

La jeune racine, il faut le répéter, vit, au commencement, d'aliments organiques, et jamais il n'a été prouvé qu'il en soit plus tard autrement. On a bien démontré par des milliers de cultures que l'assimilation de l'azote organique n'est pas nécessaire au développement de l'arbre se nourrissant de nitrates, mais de ce fait il ne faut pas conclure que l'azote organique ne peut pas être utilisé directement par la racine, notamment si les nitrates font défaut dans le sol.

Or, si cette prétendue impossibilité pour l'arbre de se nourrir d'azote n'existe pas en réalité, la valeur de la symbiose pour l'arbre à mycorrhizes devient plus douteuse encore.

L'expérience capitale de Frank était faite avec de jeunes hêtres dans des cultures de laboratoire (1).

Un lot de quinze plantes était dès la germination cultivé dans des pots remplis de bon humus normal provenant d'une futaie de hêtre. Toutes ces plantes montraient un développement normal et fort, leurs racines étaient transformées en mycorrhizes.

Dans des cultures parallèles faites avec l'humus provenant de la même localité, mais stérilisé, par son exposition pendant quelques heures à la vapeur d'eau bouillante, un autre lot de plantes restant exemptes de champignon ne parvint pas au même développement : après un an et demi, de quinze plantes, dix sont mortes. Dans des cultures au sable de quartz brûlé, stérile, arrosé par des solutions alimentaires, ou bien dans des cultures aquatiques additionnées de solutions nutritives, les plantes végétaient quelque temps, mais finissaient par mourir toutes ensemble dans peu d'années. Ici, également le champignon faisait défaut.

Eh bien, de ces faits, Frank conclut que la différence était dûe à l'existence ou respectivement à l'absence des mycorrhizes.

(1) *Berichte der Deutschen botan. Gesellschaft*, 1888. Bd. 6, p. 265. *Forstliche Blatter*, 1889, p. 1, avec Tafel I.

Mais il est évident que c'est à tort qu'il conclut ainsi. Le dessin lithographique (dans les *Forstliche Blätter*, de 1889), exécuté d'après la photographie de ses cultures, montre que, parmi les plantes périssant dans l'humus stérilisé, les cinq individus qui n'ont pas succombé sont presque aussi bien développés que ceux de la culture parallèle à l'humus non stérilisé (1).

De plus, il faut observer qu'on a bien des fois réussi à cultiver des chênes et des hêtres dans des sols stériles arrosés et surtout dans des solutions aqueuses nutritives pendant de longues années, sans que ces plantes aient péri ou même aient langui.

En tout cas, si ces végétaux périssent dans l'humus stérilisé, il faut en chercher autre part la cause que dans l'absence des mycorrhizes.

Citons à ce sujet une phrase que Gibelli a formulée en parlant de ses autres cultures : « Mais dans ces cas, il est certain que pour faire de bonnes expériences on a de grandes difficultés à surmonter. Ainsi, par exemple, si nous mettons la plante dans des conditions artificielles tout à fait anormales, pour en obtenir des résultats rigoureux, elle meurt nécessairement par notre faute ».

Dans mes cultures en sols stérilisés, assez souvent j'ai éprouvé les difficultés qui se présentent pour l'expérimentateur. Il faut renouveler et renouveler de nouveau l'expérience afin d'avoir des résultats qui puissent servir. Surtout l'arrosement rationnel est très difficile à trouver. Il faut donner aux différentes cultures parallèles *non* la même quantité d'eau mais la même fraction de l'*optimum* pour chacune; il faut, en un mot, arroser juste au degré que réclament les besoins de chaque culture.

En vérité, les expériences de Frank ne peuvent pas servir de base solide à sa théorie concernant l'utilité des mycorrhizes et, à ma connaissance du moins, il n'en existe pas de plus concluantes. Avec de jeunes plants de pin sylvestre, Frank a fait des expériences analogues. Après deux ans et demi de culture dans de l'humus stérilisé, la plupart de ces plantes sont mortes (2).

Quant à l'assimilation de l'azote organique du sol par la racine ou bien par la mycorrhize, Frank a fait aussi des recherches très intéressantes soit sur l'existence, soit sur l'absence de nitrates ou de l'acide nitrique dans les organes des plantes.

(1) Ici, on peut comparer le résultat des cultures de *Coffea arabica* et de *C. liberica* obtenu par Janse. Même développement puissant *sans* comme *avec* mycorrhizes (*l. c.*, p. 201, voir Stahl, *Jahrbücher fur wissensch. Botanik*, Bd. 4, 1900, p. 542).

(2) *Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft*, tome X. Berlin, 1892, p. 577, 583, avec pl. XXX. Voir la traduction dans la *Revue des eaux et forêts*, t. XXXIII, Paris, 1894, p. 122, 131, avec les observations de MM. L. Mangin et E. Henry et dans la *Revue mycologique*, année XVII, 1895, p. 149. Puis la critique de von Tubeuf dans la *Naturwissenschaftliche Zeitschrift fur Land-und Forstwirtschaft*, 1re année, Stuttgard, 1903, p. 75.

Il a trouvé que les mycorrhizes ne contiennent aucune trace d'acide azotique ou d'azotates. Pour lui, c'est la preuve que les mycorrhizes assimilent l'azote organique directement, c'est-à-dire n'empruntent pas l'azote aux azotates, comme le font d'ordinaire les arbres et autres plantes exempts de champignon. Ces recherches ont été poursuivies surtout par *M. Stahl*, dans son important mémoire cité plus haut ; en effet, les faits observés semblent indiquer, pour les espèces pourvues de mycorrhizes, une différence nettement prononcée. Toutefois, comme je ne me suis pas moi-même livré à ce genre de recherches, je n'ai à ce point rien de nouveau à ajouter, et je ne ferai pas la critique des résultats obtenus par les autres.

Il existe bien une corrélation entre l'intensité de la transpiration, d'une part, et, d'autre part, l'apparition et la quantité formée de sucre, d'amidon, de nitrates et d'autres sels minéraux dans les divers organes des plantes ; cette corrélation existe aussi pour les arbres forestiers.

Seulement la dépendance des divers phénomènes entre eux ne semble pas être encore complètement éclaircie, et l'influence de beaucoup de facteurs extérieurs, comme celle des mycorrhizes, doit rendre le problème assez compliqué.

Il faut encore attendre la solution définitive des questions qui concernent la nutrition de la plante par les matières organiques du sol, sans l'aide du champignon, pour décider si celui-ci peut être en quelque manière avantageux à son hôte. Ni les observations faites dans la nature, ni les expériences faites jusqu'à présent, sainement interprétées, ne nous fournissent cette solution.

Afin de paralyser la prépondérance des accidents inévitables, il faut s'appuyer toujours sur de grandes séries de cultures parallèles concordantes. Or, en règle générale, les conditions restreintes des laboratoires ne sont pas favorables à de telles cultures aussi étendues.

Souvent il vaudra mieux établir un correctif à la nature elle-même. Rappelons pour cela les observations faites par Reuss, dans la Bohême, sur une stérilisation du sol humeux et une culture en grand (1).

Dans le « Hainfeldbau » ou « Waldfeldbau », combinaison de cultures agricoles et forestières, la végétation et l'humus du sol sont brûlés par des feux détruisant la vie des champignons du sol. Ayant disséminé les cendres des débris organiques amassés et des végétaux entassés, après quelques récoltes d'essences agricoles, on recommence la culture des arbres forestiers. Eh bien ! des épicéas ayant déjà formé des mycorrhizes étaient plantés dans

(1) Voir ma thèse, p. 200. Hermann Reuss dans le *Centralblatt für das gesammte Forstwesen*. Wien. 1889, p. 289-302.

ces terrains-ci, où ils se débarrassaient bientôt des mycorrhizes et n'en formaient pas de nouvelles. Deux ans après la plantation, ils étaient complètement dépourvus de mycorrhizes; néanmoins, ils prospéraient excellemment. L'épicéa peut donc se passer de champignons, qui, d'après l'interprétation de Frank, lui serviraient en quelque sorte de nourrice. Il serait bon de répéter ces expériences en variant les conditions et le procédé de stérilisation.

Toujours il faut se souvenir du fait que les arbres peuvent se développer normalement sans l'aide des champignons. C'est ce qu'on observe assez souvent dans les jardins d'ornements, les pépinières, les jardins botaniques, les jardins d'expériences, etc. Au jardin de la station forestière de recherches de Munich, Robert Hartig, mon maître, à jamais mémorable, a cherché en vain des mycorrhizes sur nombre d'individus de hêtres, de chênes, de charmes, de noisetiers, âgés de dix ou douze ans (1). Dans le Jardin de Plantes de Paris, les mycorrhizes étaient beaucoup plus rares qu'à la forêt; de même, au jardin botanique de Copenhague, j'ai trouvé les mycorrhizes peu abondantes.

Sur ces localités cependant, l'humus abonde. D'autre part, les mycorrhizes se forment en quantité sur un sol extrêmement pauvre en humus comme celui des sables mouvants. A quelle cause la différence est-elle dûe alors?

Pour moi, ce n'est pas l'humus par lui-même, mais c'est bien la prospérité des champignons humicoles qu'il contient qui décide la formation des mycorrhizes. Celle-ci dépend de la présence, sur le sol, de feuilles tombées; car c'est sur les feuilles que croissent les champignons qui ont spécialement la faculté de former avec les racines les mycorrhizes.

Dans les jardins ou stations analogues, même très riches en humus, mais où le vent ou la main de l'homme enlève la litière de feuilles, les mycorrhizes ne se forment que médiocrement. Leur source tarit tandis que, même sur le maigre sol de sable mouvant, la couche peu épaisse des aiguilles de pins suffit pour provoquer la formation de puissantes gaînes mycéliennes.

III

Les champignons symbiotiques.

Les symbiotes des racines me paraissent le plus souvent naître et se propager sur les feuilles des arbres feuillus ou sur les aiguilles des conifères et puis se développer dans le sol.

De celles-ci le mycélium s'étend aux racines et il y trouve une

(1) *Botanisches Centralblatt*, 1886. Tome 25, p. 350-352. — *Revue des eaux et forêts*, t. 27. Paris 1888, p. 472-480.

station très favorable à sa croissance. Les cotylédons de la plantule et les feuilles de la plante dès sa première année tombant par terre fournissent la faible quantité nécessaire à l'infection du sol et à l'établissement de la symbiose.

Voici, à cet égard, quelques-unes de mes observations :

Dans une forêt pas loin de Copenhague, je trouvai partout les racines des hêtres âgés de 120 à 150 ans transformées en mycorrhizes. Il en était de même des plantes âgées de 3 ans sur la même station provenant de régénérations naturelles ; partout on observa, dans l'humus du sol, des gaînes mycéliennes sans poils radicaux. Sur des carrés, on avait enlevé ici l'humus mauvais, acide (le *mor* en danois) pour semer des hêtres dans le sable sousjacent stérile. Ces plantules âgés de 2 mois n'avaient pas encore de gaînes mycéliennes; entre les poils radicaux assez nombreux se montraient quelques hyphes de champignons devenues plus rares à cause de l'enlèvement de l'humus. Dans celles de mes cultures où j'employai un tel sol de *sable plombé* (*blysand* en danois), j'ai vu se former des gaînes mycéliennes après six mois environ sur les racines du hêtre. Au sol des pépinières en général, les mycorrhizes font défaut; mais sur une telle station située dans la même forêt dont je viens de parler, il en était autrement et en voici le motif. Pour améliorer le sol on l'avait mêlé avec de la litière de feuilles mortes; les jeunes hêtres, ici repiqués, âgés de 3 ans, du même âge alors que ceux de la futaie mentionnée plus haut, étaient bien, en règle générale, exempts de champignons et pourvus de poils radicaux courts, très nombreux ; mais, aux endroits où les racines touchaient aux feuilles mortes enterrées, les filaments mycéliens abondaient et là les gaînes mycéliennes commençaient à se former, atteignant çà et là un développement considérable.

Au jardin d'expériences appartenant au laboratoire de M. Frank, à l'école supérieure agronomique de Berlin, un plant de charme (*Carpinus Betulus*), âgé de 8 ans environ, m'a bien montré çà et là quelques mycorrhizes à gaine peu épaisse; mais la plupart de ses racines étaient encore exemptes de champignons, pourvues de coiffes élégantes et de quelques poils radicaux, les filaments mycéliens étant peu abondants. Le sol de ce jardin, un sable jaune, maigre, avait été amélioré avec du fumier dont quelques morceaux de paille se voyaient encore. En automne 1890, j'y semai des faines et, l'année suivante, j'examinai les racines des jeunes hêtres. A la fin du mois de mai, les racines se montraient encore pourvues de poils radicaux, libres de champignons qui, à la fin du mois d'octobre, arrivèrent pourtant à envelopper beaucoup de racines dans des gaines mycéliennes en général encore peu épaisses. Les gaines se formaient en premier lieu aux racines, traversant

la paille, preuve que l'infection des racines part des débris organiques du sol sur lesquels s'est développé le champignon en saprophyte (1).

Le développement le plus puissant des mycorrhizes et des filaments mycéliens s'entrelaçant dans le sol des forêts s'opère dans les espaces vides, remplis d'air humide, qui se trouvent entre les feuilles tombées stratifiées ou dans les trous formés par des mulots, des taupes, des vers de terre et autres animaux fouillants. Comme ces cavités convenablement humides sont favorables au champignon, fixé à la racine, mais défavorables à celle-ci, le fait que les mycorrhizes se développent abondamment dans ces cavités nous paraît de nature à combattre l'opinion que la symbiose soit utile à l'arbre. Il est à présumer aussi que la croissance vigoureuse du champignon dans les terres arides et stériles s'opère, en partie, aux dépens des réserves de la racine. D'autre part, si l'humidité est considérablement augmentée, le sol détrempé devient un milieu défavorable au champignon. Alors la racine se nourrit seulement par son épiderme avec ses poils, tandis que le champignon dépérit. Des racines mortes envahies par les filaments d'un champignon saprophyte sont entrelacées et utilisées elles aussi, mais jamais je n'y ai vu se former une gaine mycélienne (celle-ci étant seulement le produit de la racine vivante réagissant contre son parasite ou symbiote).

Par la stérilisation du sol à l'aide de la vapeur d'eau bouillante, les champignons (aussi les bactéries) qu'il contient, sont tués. Je m'en suis assuré par des expériences à part. Mais, pendant la culture exécutée sur un sol ainsi stérilisé, de nouveaux germes de champignon viennent s'installer à la surface; les hyphes pénètrent dans le sol et finissent par transformer les racines en mycorrhizes. De ce fait, il faut conclure que les champignons mycorrhizogènes se trouvent un peu partout. Sur l'écorce, au bas de la tige des jeunes plants de hêtre, j'ai eu l'occasion de constater assez souvent dans mes cultures la présence des hyphes, des conidies et des pycnides de *Cladosporium* et d'*Helminthosporium*. Les mêmes formes de fructification, je les ai trouvées et sur les feuilles et sur les racines. Egalement, dans le sol des forêts, les racines du hêtre m'en ont montré fréquemment sur les gaines mycéliennes. Je faisais des coupes minces des mycorrhizes du hêtre pour étudier le développement du champignon dans des solutions nutritives. J'employais, dans ce but, une décoction de terre végétale de forêt entremêlée de feuilles mortes dans laquelle ces racines s'étaient développées. D'autres cultures étaient faites dans une décoction de prunes. Le champignon se comporte différemment dans ces

(1) Une observation tout à fait analogue y a été faite par Frank et également par von Tubeuf (*Naturwiss. Zeitschrift für Land-und Forstwirtsch*, 1re année, 1903, p. 77).

deux sortes de liquides ; en général, le premier donne les résultats les plus instructifs.

J'emportais avec moi dans une forêt, près de Berlin, un verre (grande éprouvette) stérilisé d'avance. J'y mettais aussi vite que possible des racines du hêtre déterrées sur place, puis je fermais solidement le verre. Au laboratoire, les cultures des coupes de ces racines étaient faites dans une goutte des liquides mentionnés plus haut, stérilisés, la goutte étant appliquée dans des chambres humides également stérilisées. Les racines étaient préalablement lavées dans de l'eau, d'avance bouillie; toutes ces précautions et d'autres encore étant prises afin d'éviter l'intervention des germes suspendus et tombants de l'air.

Partant du réseau d'Hartig, dans les coupes minces des mycorrhizes, les hyphes intercellulaires s'allongeaient en formant autour de la racine une véritable couronne de filaments conidifères.

Moins fréquemment, les filaments extérieurs de la gaine mycélienne se développaient en hyphes conidifères. Les conidies unicellulaires, verticillées sur des hyphes cloisonnées, rappelaient en tout celles des *Cladosporium*, s'étant formées dans des conditions analogues. Portées dans une décoction de prunes, elles se reproduisaient par bourgeonnement, mais ces conidies-levures, ramenées dans la décoction d'humus, reprirent l'aspect ordinaire. Aux bords de la goutte, les filaments conidifères atteignaient leur développement le plus riche (1).

Je n'ai pas pu pousser plus loin les cultures afin d'avoir d'autres fructifications, ce qui serait nécessaire pour la détermination précise des espèces de champignons.

C'est un problème dont la solution exige des recherches ultérieures. Pour moi, cependant, je suis convaincu que les champignons formant, en général, les gaines mycéliennes des mycorrhizes sont les mêmes qui croissent sur les feuilles vivantes puis sur les feuilles mortes tombées (2).

Les mêmes pycnides (3) que j'ai vues *maintes fois* sur les gaines mycéliennes des racines des Cupulifères et des Conifères, je les ai retrouvées en abondance sur les feuilles de ces arbres et notamment sur les feuilles du hêtre. Sur une feuille de ce dernier choisie par hasard, j'en ai compté 600; sur une radicelle, jusqu'à 4; sur une

(1) On peut comparer, ici, les cultures faites des champignons des orchidées, notamment les résultats obtenus par Wahrlich et par Vuillemin. Voir ma thèse, p. 212-214. Pour le *Vallota purpurea*, H.-O. Juel, en 1892, a indiqué l'existence de champignons symbiotes endotrophiques analogues à ceux trouvés par Wahrlich (*ibid.*, p. 257).

(2) Cfr. Sarauw dans *Forhandlingerne ved de Skandinaviske Naturforskeres* 14, Möde. Copenhague, 1892, p. 459, avec discussion suivante.

(3) Entre ces pycnides, il y avait peut-être aussi quelques sclérotes et périthèces non arrivés à maturité.

courte racine, jusqu'à 10 à 12 pycnides. Leur diamètre variait de 30 à 90 μ, en règle générale de 50 à 80 μ. Ordinairement, elles sont pourtant beaucoup plus rares, surtout elles semblent se développer en automne. Il est très rare de trouver des conidies sur les mycorrhizes puisqu'elles se détachent si facilement. Il faut rappeler aussi que sur les gaines mycéliennes des racines du noisetier, dans les Vosges, Lecomte a trouvé des périthèces presque sphériques, mesurant en diamètre 35-46 μ, et des conidies bi-cellulaires (1).

Quant à moi, je me range à l'opinion de ceux qui ont désigné comme champignons mycorrhizogènes, notamment les *Sphériacées* : E. Rostrup, Gibelli et Lecomte. Surtout ce sont, je crois, les *Cladosporium* et *Helminthosporium* les formes les plus ordinaires. J'ai trouvé en masse des coniodophores de ces genres, sur les cotylédons du hêtre ; les conidies se détachent très facilement au moindre mouvement de l'air ; tombées à terre, elles germent et développent un tissu abondant de filaments mycéliens, entrelaçant les feuilles mortes et les racines. Comparés à ceux-ci, tous les champignons visibles à l'œil nu sont extrêmement rares sur le sol des forêts. Une partie de ces filaments mycéliens sont pourvus de boucles (*Schnallen*, en allemand), ce que déjà, en 1852, a observé Hermann Schacht. En général, on les attribue aux Basidiomycètes, mais les boucles n'appartiennent pas exclusivement à ceux-ci (2) ; leur apparition chez certaines espèces serait, en effet, un sujet digne d'étude approfondie ; les recherches de Bail, de Bary, Brefeld, Frank, Mattirolo et d'autres investigateurs sont encore insuffisantes sur ce point.

On a indiqué plusieurs espèces de champignons (3) comme étant symbiotes des racines des arbres, à savoir : Basidiomycètes (Woronin, Frank, Noack), Ascomycètes (Gibelli, Lecomte), spécialement Elaphomyces (Vittadini (4), Tulasne (5), Boudier (6), Reess), et d'autres Tubéracées (Frank, Mattirolo, Dangeard).

Je n'ai pu, moi-même, m'assurer de tous ces faits. Sans nier

(1) *Bull. de la Soc. bot. de France*, t. 34, 1887, p. 38-39.

(2) Voir ma thèse, p. 206-207.

(3) *Noack. Botan. Zeitung* 1889, p. 389-397, pl. V. Frank, *Naturwiss. Wochenblatt* 1888, N° 1-2. *Versammlung der Forstwirthe von Mahren und Schlesien* 1888. (Réfer. par v. Tubeuf dans *Allgem. Forst.-u. Jagd-Ztg. Suppl.* 1889).

(4) Vittadini : *Monographia Lycoperdineorum. Memorie della reale accademia delle science di Torino*. Ser. 2. Tom. 5. Torino 1843, in-4° p. 220.

(5) Une note importante tombée en oubli dans les *Annales des sciences naturelles*. Botan. 2e série, tome 16e. Paris 1841, p. 5-29, av. Pl 1-4. Pour la littérature voir en outre ma thèse, p. 236.

(6) Boudier : Du parasitisme probable de quelques espèces du genre Elaphomyces. *Bull. de la Soc. bot. de France*. Tome 23, 1876, p. 115. Les observations sur la « croûte » des fruits faites par Boudier ne s'accordent par toujours avec celles de Tulasne, qu'il ne paraît pas avoir connues.

positivement l'exactitude de ces résultats, je me permettrai cependant de faire quelques remarques concernant certains phénomènes qui pourraient avoir échappé à ces savants observateurs. On voit bien des filaments mycéliens rattachant les fruits des Basidiomycètes, des Tubéracées, etc., aux mycorrhizes des arbres ; mais, pour moi, ces filaments ne partent pas des dits fruits, mais en sont au contraire parasites ; ils y vivent comme sur les racines et sur les feuilles tombées mourantes ou mortes, étant, au contraire, originaires des dernières.

Comme l'a fait remarquer déjà, en 1878, P.-E. Müller dans ses études sur l'humus, le sol humeux de la forêt est rempli de filaments mycéliens qui y fourmillent. Pour nous en faire une idée, supposons que la coupe transversale des filaments cylindriques soit, en moyenne, grande de 33 μ carrés (pour un diamètre de 6 μ-5) et qu'un dixième du volume solide de ce terreau consiste en substance mycélienne, ce qui n'est pas, je crois, exagéré. Cela posé, on trouvera que chaque centimètre cube du sol contient tellement de filaments mycéliens que leur longueur totale additionnée sera de 3 kilomètres environ ; treize ou quatorze litres du terreau de la forêt nous fourniront un fil mycélien assez long pour ceindre notre globe autour de l'Equateur.

En beaucoup de stations, même dans des contrées où les truffes font défaut, on trouve néanmoins en masse les différentes formes de filaments mycéliens que l'on a attribuées à ces Tubéracées. D'autres observateurs ont attribué ces mêmes filaments à diverses autres espèces dont il se sont spécialement occupés ; ainsi, cette opinion suppose un polymorphisme de mycélium qui nous est très suspect.

Une des meilleures recherches qui ait été faite sur le parasitisme des truffes est celle de M. O. Mattirolo qui en a rendu compte dans une note très instructive (1). Il représente des rhizomorphes se détachant de l'écorce d'un *Tuber excavatum* Vitt., qu'il a trouvés en continuité avec les mycorrhizes des arbres. M. le professeur Mattirolo a bien voulu m'envoyer à plusieurs reprises, de la Lombardie (Italie), des spécimens de *Tuber excavatum* Vitt. propres à l'examen des rhizomorphes réunissant la truffe à la racine.

Dans la croûte (*crusta* Vittadini) comme dans la cavité inférieure de la truffe et les galeries y débouchant, on voit s'enlacer des filaments mycéliens jaunes ou bruns. Ces filaments, se prolongeant dans le sol et formant les gaines mycéliennes des mycorrhizes, pénètrent dans les cavités de la truffe comme dans toute autre cavité humide (se trouvant dans le sol) favorable à leur croissance ;

(1) Malpighia. Vol. 1. Messina 1887 ; 11 pages, tab. X. *Archives de biologie italiennes*. Tome 9, 1888. — Cfr. Mattirolo, dans les *Memorie della reale accademia delle scienze di Torino*. Serie II. Tome 38, 1887, p. 5. tab. II.

mais malgré des recherches soigneuses, jamais je n'ai réussi à voir des relations plus intimes entre les filaments et le tissu solide de la truffe. Pour moi, ils ne sortent pas de celle-ci (1).

Les vraies hyphes de la truffe sont blanches, incolores et pourvues de très petites verrues qui se distinguent mieux après traitement des hyphes par l'acide sulfurique.

En général, on dit que les verrues des filaments mycéliens se composent d'oxalate de chaux. J'en ai fait une série d'expériences en traitant les hyphes du sol par divers réactifs ; jamais je n'y ai trouvé d'oxalate de chaux ; les verrues, au contraire, doivent être cutinisées.

Aux tout jeunes filaments, l'acide chlorhydrique fait bien souvent et vite disparaître les verrues, mais aux filaments les plus âgés, les verrues résistent à ce réactif comme aux autres. J'ai fait agir les réactifs pendant sept mois : par quelques-uns, les verrues étaient rendues encore plus claires.

D'après mes observations, je ne crois pas que les truffes soient, en général, des parasites des arbres ; plutôt les mycorrhizes sont des parasites des truffes. Toutefois, la petite truffe *Celtidia*, découverte par Janse, est vraiment parasite sur les courtes radicelles du *Celtis*, puisqu'elle pénètre dans celles-ci en développant ses fruits en dedans des tissus des mamelons qu'elle habite ; mais, d'autre part, les hyphes intracellulaires ordinaires des mycorrhizes du *Celtis* n'appartiennent pas à ce champignon (2).

Le mycélium et les rhizomorphes, enveloppant les truffes et les liant aux racines des arbres, ont été étudiés par Tulasne, par de Ferry de la Bellone, Condamy et P.-A. Dangeard qui, comme O. Mattirolo, a soutenu que les rhizomorphes sont de véritables organes des truffes, les rhizomorphes incolores étant des filaments jeunes, pendant que les rhizomorphes colorés en brun étaient arrivés à un âge plus avancé (3). En même temps, on a maintenu l'identité des rhizomorphes colorés avec ceux figurés par P.-E. Müller, trouvés dans le sol des forêts danoises, même en des lieux où il n'y a point de truffes du tout.

Au cours de ses études soigneuses, concernant la vie de la truffe, sur le « mariage » de laquelle il s'est fait des idées toutes

(1) L'appareil fructifère du *Tuber excavatum* est au commencement ouvert, gymnocarpe. Pour les hyphes isolées, renfermées, cfr. F. Bucholtz in *Berichte d. deutschen botanischen Gesellschaft*, t. XV, 1898, p. 211, pl. VI, et dans les *Annales Mycologici*, vol. 1, Berlin, 1903, p. 154. Selon Hesse, les rhizines et les autres hyphes du péridium du *Tuber excavatum*, etc., ne sont pas originaires des truffes. *Botanisches Centralblatt*, 1890, t. 44, p. 311, pl. IV.

(2) M. Janse : Quelques mots sur le développement d'une petite truffe. *Annales du jardin botanique de Buitenzorg*, vol. XIV, 1897, p. 202-204, pl. XII.

(3) Dangeard : La Truffe. *Le Botaniste*, 4e série, 1894-95, Poitiers, p. 65-73, avec une figure.

particulières, Condamy, en 1876, a décrit et très bien figuré (1) des mycorrhizes avec leurs rhizomorphes formés par le mycélium « mâle » qui est un parasite lichénoïde toujours fixé sur les jeunes racines vivantes. Sur ces rhizomorphes, il a remarqué à l'aide du microscope, de petits corps ronds, granuleux, disséminés dans le blanc des racines, et il les a pris pour le « pollen » des truffes. Pour moi, il n'y a pas de doute que ses « pollen » sont identiques à mes pycnides, et que ni le mycélium « mâle » sur les racines, ni le « blanc femelle », sur les feuilles mortes, n'appartiennent aux truffes qui, du reste, ne naissent pas *sur* les racines des arbres, mais toujours *entre* celles-ci. (Pl. V-VII *bis*).

Aussi de Ferry et Grimblot ont reconnu que le mycélium blanc tapissant souvent l'appareil reproducteur de la truffe est étranger à celle-ci (2), tandis que les filaments bruns sont encore considérés comme appartenant aux truffes, ce qui pourtant ne peut être prouvé strictement que par des cultures artificielles qu'on n'a pas jusqu'à présent réussi à faire. On peut seulement affirmer que le parasitisme n'est obligatoire ni pour les Tubéracées, ni pour les Elaphomycètes (3).

A son laboratoire, M. Frank me céda un échantillon de terreau provenant du sol d'une truffière à Everode, près Alfeld, localité au sud de Hanovre. Ici les mycorrhizes du hêtre présentaient absolument l'aspect ordinaire, elles n'étaient en rien liées aux truffes contenues dans la terre. Parmi les verrues superficielles du corps fructifère de la truffe noire, *Tuber aestivum* ou *mesentericum*, se voyaient bien les filaments mycéliens partout parcourant le sol, réunis çà et là en petites touffes sur le tubercule.

Une mycorrhize à gaine mycélienne épaisse présentait ici une touffe de conidies d'*Helminthosporium*; sur les feuilles mortes environnant les racines se trouvaient une foule de pycnides variant en diamètre de 60 à 180 μ.

Fait curieux à remarquer : même dans ce sol classique pour l'étude des mycorrhizes, puisque c'était lui qui avait fourni à Frank les premiers matériaux pour l'établissement de sa théorie, j'ai pu constater non seulement la présence de mycorrhizes très nombreuses, mais aussi de parties intermédiaires des racines

(1) A. Condamy. *Etude sur l'histoire naturelle de la Truffe*. Angoulême, 1876, in-4°, p. 16, pl. 1, fig. 6.

(2) De Ferry de la Bellone. *La Truffe*. Paris, 1888, pp. 15-20-31-36-37; fig. 1-2. Cfr. aussi Ad. Chatin. *La Truffe*. Paris, 1869, p. 31. Puis H. Bonnet. *Eu parasitisme de la Truffe. Revue Mycologique*, 1887, p. 195; 1888, p. 69; 1889, p. 124.

(3) Cfr. les observations faites par R. Hesse, dans *Botanisches Centralblatt*, 1889, t. 38, p. 556. Les truffes peuvent bien prospérer à des stations où les arbres manquent totalement. Cfr. aussi v. Shelesnov, dans le *Bulletin de la Soc. impér. des naturalistes de Moscou*, t. 42, 1869, p. 449. (*Choeromyces meandriformis* Vitt.).

exemptes de champignons et pourvues abondamment de poils radicaux (1).

Pour l'*Hymenogaster Cerebellum* Cav. se développant dans la terre de bruyère des pots à Casuarinées et Myrtacées du jardin botanique de Pavie, F. Cavara a remarqué des rapports entre les corps fructifères de ce champignon et les racines des plantes parmi lesquelles ils se trouvaient. La base du tubercule était toujours le point d'adhésion des racines, l'union s'établit au moyen d'hyphes spéciales décrites et figurées (2). Cavara pense qu'il s'agit ici d'un véritable parasitisme et non d'une symbiose dans le sens de Frank, mais pour moi, il est très douteux que ces « hyphes communicantes » appartiennent bien à l'*Hymenogaster* ; car dans chaque terre de bruyère on trouvera des filaments mycéliens identiques qui ne lui appartiennent pas. Le corps fructifère est revêtu d'hyphes d'espèces diverses.

J'ai eu l'occasion d'observer des relations analogues chez le *Rhizopogon luteolus* Fr. dont je trouvai en 1890, en très grande quantité, les appareils fructifères dans une forêt de hêtres âgés de 25 à 30 ans, aux Barnstorfer Anlagen, près Rostock en Mecklembourg. Ici, du moins, les corps fructifères les plus jeunes étaient bien rattachés et fixés aux mycorrhizes du hêtre, mais un véritable parasitisme n'a pu être constaté (3). Après que les corps fructifères du *Rhizopogon* sont pourris et dévorés par les larves, les mycorrhizes persistent encore et sont inaltérées. A la base du tubercule se trouve, comme chez l'*Hymenogaster* et le *Leucogaster*, une touffe de filaments mycéliens se divisant en rhizomorphes. Sur les feuilles tombées du sol se trouvaient de nombreuses pycnides, dont quelques-unes se voyaient aussi sur les gaines des mycorrhizes.

Dans un peuplement de hêtres âgés de 80 ans, à Eberswalde, se trouvaient ensemble un certain nombre de jeunes corps fructifères de *Lycoperdon Bovista*, desquels partaient des rhizomorphes blancs s'entrelaçant çà et là avec les filaments mycéliens, bruns ou jaunes, ordinaires du sol. On voyait aussi les mycorrhizes des arbres, sur une étendue moins longue, enveloppées par les hyphes de Lycoperdon (4) ; mais cette enveloppe n'était que secondaire, le

(1) On peut comparer l'observation faite par de Seynes, mentionnée dans *Bull. de la Soc. bot. de France*, t. 34, 1887, p. 39.

(2) *Revue mycologique*, 16me année, 1894, p. 152-157. Pl. CXLVIII. Pour les hyphes communiquantes, les hyphes en stylet, comp. avec notre fig. 3 de la planche CCXXXVI.

(3) Pour *Leucogaster floccosus*, le mycélium réunissant l'appareil fructifère aux mycorrhizes des chênes et des hêtres a été décrit par Hesse dans *Botanisches Centralblatt*, 1889, t. 40, p. 1-4, pl. I. Le revêtement mycélien du *Rhizopogon luteolus* est accentué dans une note très intéressante pour l'étude des truffes par Ascherson. Voir *Sitzungsberichte des bot. Vereins d. Prov. Brandenburg* 1880, Berlin 1881, p. 136.

(4) Noack, au contraire, ne trouva aucune connexion entre les racines des arbres et les espèces de Lycoperdon qu'il a examinées. *Botan. Zeitung*, 1889, p. 392, 396.

tissu de la gaine étant formé déjà par un autre champignon. Sur les gaines mycéliennes des radicelles se voyaient quelques petites pycnides ayant émis de nombreuses stylospores. Ici même, on remarquait assez souvent des poils radicaux sur les longues racines du hêtre.

La symbiose peut bien s'établir entre des espèces diverses de champignons. Ainsi, le *Torrubia ophioglossoides* Tul. (*Cordyceps ophioglossoides* Link, *Clavaria parasitica* Ehrh.) est presque toujours parasite du fruit de l'*Elaphomyces* et dénonce la cachette de celui-ci. Comme Tulasne (*Selecta fungorum carpologia*, t. III, 1865, p. 20-22, avec tab. II, fig. 9), j'ai trouvé ses conidies toujours accompagnant le fruit de l'*Elaphomyces granulatus* (et *variegatus*) à péridium jaune dans les forêts aux alentours de Berlin et, comme Tulasne, je les ai cultivées.

Les filaments mycéliens de *Torrubia* s'entrelacent aux fruits de la truffe hospitalière et aux racines des hêtres, des pins et des épicéas. Par eux s'effectuent peut-être le plus souvent, à juger d'après la forme des boucles du mycélium, les connexions intimes avec les arbres voisins (1) dont les mycorrhizes sont formées pourtant par une troisième espèce de champignon. Pour Reess, c'est, on le sait, l'Elaphomyces lui-même qui est parasite de la racine du Pin sylvestre (2), comme pour Bail de la racine du hêtre (3).

Un cas analogue de symbiose indifférente entre deux champignons du sol de la forêt vient d'être signalé par Dangeard ; ce sont deux Basidiomycètes de la famille des Trémellacées, une *Trémellinée* vivant en association avec *Dacryomyces deliquescens* sur du bois mort (4). Il se peut que de telles associations soient beaucoup plus nombreuses et pas seulement accidentelles.

Le parasitisme ou la symbiose des champignons avec les racines est un phénomène assez compliqué insuffisamment élucidé par les recherches faites jusqu'à présent. Aussi, j'ai cru bon de mentionner ici les résultats de mes observations afin de stimuler les investigateurs, mieux en situation que moi de poursuivre ces intéressantes études.

Tout récemment, M. Alfred Möller vient de faire une com-

(1) Cfr. Reess et Fisch dans *Bibliotheca botanica. Heft* 7, *Cassel*, 1887, p. 7, 23. — F. Ludwig, *Einige interessante Pilzfunde. Verhandlungen d. bot. Vereins der Provinz Brandenburg*, 1880. Berlin, 1881, p. 14. *Botan. Centralblatt*, 1880, p. 1603.

(2) Voir aussi Vuillemin. *l. c.*, p. 328, 332. Cfr. Tulasne, *Fungi hypogœi*, Paris, 1862, p. 19, qui établit une théorie spéciale de parasitisme ou de symbiose, différant de celle de Vittadini ayant le premier traité de ce sujet.

(3) *Botan. Centralblatt.*, 1881, tome V, p. 292, note. Cfr. pourtant Hesse, *ibid.*, 1889, tome XXXVIII, p. 519, 556.

(4) *Le Botaniste*, 4e série, 1894-95, p. 182-187.

munication de haute importance sur ce sujet (1). Dans des cultures faites avec de petits morceaux de mycorrhizes du pin sylvestre, du pin strobe, de l'épicéa et du chêne, il a réussi à avoir les fructifications d'un champignon nommé (en 1886), par Vuillemin, *Mucor heterogamus*, inconnu auparavant en Allemagne, et puis de trois autres espèces de *Mucor* (ou bien d'un nouveau genre nommé *Zygorhyncus*) (2). Enfin, en ce qui concerne le rôle physiologique, les expériences de M. Möller ont démontré que ni les mycorrhizes du pin sylvestre, ni celles du chêne n'assimilent une quantité sensible de l'azote libre de l'air.

De ces belles recherches dont nous n'avons pu, autant qu'il faut, tenir compte ici, on trouvera une analyse autre part dans cette Revue.

IV

Conclusions.

Dans les tubercules radicaux et dans les formations analogues des racines, les bactéries endotrophiques sont forcées d'assimiler l'azote libre de l'air afin de pouvoir résister à la destruction dont les menace la plante infectée (malgré elle hospitalière), de sorte que les bactéries deviennent (malgré elles) aussi utiles à l'homme profitant de ce combat réciproque des symbiotes. Abstraction faite de cette forme spéciale, pour la symbiose des champignons à hyphes, nous sommes portés à conclure :

1° La symbiose de certains champignons avec les racines est très répandue, mais elle dépend de l'intensité de croissance des racines, les radicelles ou les parties du chevelu croissant assez vite restant libres du champignon, repoussant celui-ci ;

2° La formation des mycorrhizes dépend de la présence dans le sol de feuilles tombées sur lesquelles se développent les champignons symbiotiques ordinaires des racines, notamment le *Cladosporium* et ses congénères ;

3° Il est douteux que les Truffes, les Agaricacées, les Lycoperdacées, les Hyménogastracées, etc. puissent être parasites des racines en formant autour d'elles des gaines mycéliennes ou en les envahissant par des filaments mycéliens endotrophiques ;

4° Les champignons symbiotiques ne nuisent pas sensiblement à la plante hospitalière ; d'autre part, il n'est nullement démontré que celle-ci retire un profit quelconque de son compagnon non invité.

Explication de la planche CCXXXVI.

Fig. 1. Racine d'Epicéa.

Toute la surface de la radicelle est entourée d'une gaine mycélienne (*a*) de tissu pseudoparenchymateux. Ce mycélium se prolonge

(1) *Zeitschrift fur Forst. un Jagdwesen.* Année 35, Berlin, 1903, p. 321-338.
(2) *Bull. de la Soc. mycologique de France*, tome 19, 1903, p. 117-118.

entre les lames des cellules de l'écorce extérieure de la racine et il forme en s'anastomosant entre ces lames un réseau (réseau d'Hartig). Quelques-unes de ces cellules (les plus superficielles) (*b*), plus ou moins aplaties, se sont déjà décollées des autres.

En résumé, *a* gaine mycélienne ; *b* cellules collabescentes de l'épiderme ; *c* cellules de l'écorce les plus extérieures montrant le réseau d'Hartig : le lacis mycélien se montre aussi bien sur la section des cloisons qu'à leur surface. Voir année 1903, p. 160 et 163.

Fig. 3, 5, 6, 7 et 8 concernent le hêtre. Se reporter, pour l'explication de ces figures, aux pages 168 et 169. La figure 3 représente schématiquement les différentes formes de filaments mycéliens qu'on trouve sur la mycorrhize du hêtre et que l'on peut comparer au poil radical dessiné en *r*.

Fig. 2. Coupe transversale de la mycorrhize endotrophique de l'Orme. Les pelotes d'hyphes intracellulaires sont marquées par un *p*. Leur pseudoparenchyme se voit en *n* (vers le bas de la figure). Les sporanges ou vésicules (kystes) se voient en *s*. Voir année 1903, p. 170.

Fig. 4. Racine latérale d'un plant d'Epicéa âgé de 3 ans, dont la pointe a été coupée par une larve de hanneton. Les nouvelles racines adventives (*r*), destinées à remplacer cette pointe, s'étant développées très rapidement, sont exemptes de mycélium ; elles sont très grosses avec des poils radicaux et avec coiffe, mais sans gaine mycélienne. Sur les autres racines (surtout sur leurs plus jeunes ramifications (*s*), il existe, au contraire, une gaine mycélienne.

Contribution à la connaissance des espèces du genre Pilobolus[1]

Par M. le professeur Palla de l'Université de Graz.

Résumé et traduction, par R. Ferry

Planches CCXXXVII et CCXXXVIII

L'auteur a étudié en cultures pures toutes les espèces qu'il a pu se procurer. Ensuite de ses observations il a été amené à se faire sur le genre *Pilobolus* des idées autres que celles qui sont généralement reçues.

Ce genre lui est apparu comme composé d'un certain nombre de sections bien distinctes entre elles. Les espèces, au contraire, qui composent chacune de ces sections, ont entre elles des caractères communs qui les rapprochent étroitement les unes des autres, au point que l'on retrouve toutes les formes intermédiaires entre certaines espèces voisines ; ces espèces ainsi reliées entre elles représentent de « petites » espèces indépendantes, mais se distin-

(1) Palla (E). *Zur Kenntniss der* Pilobolus-*Arten* (*Oesterr. botan. Zeitschrift.*, 1900, n° 10).

guant difficilement dans la pratique, de sorte qu'on est forcé d'appliquer un nom collectif pour toutes.

On verra plus loin comment l'auteur caractérise chacun de ces groupes et comment il y fait rentrer et y distribue les formes précédemment admises comme espèces.

Auparavant il donne la description d'une nouvelle espèce qu'il a découverte sur le fumier de vache et qui n'a été rencontrée jusqu'à présent qu'à Graz et aux environs.

I. — *Pilobolus heterosporus* n. sp.

Sporangiophores, généralement haut de 2-3 mm. rarement un peu plus haut, naissant à l'extrémité des rameaux mycéliens. Les ampoules de la racine et du stipe ne sont qu'exceptionnellement superficielles; elles sont habituellement enfoncées dans le substratum horizontalement, obliquement ou (plus rarement) perpendiculairement, étant pourvues d'un certain nombre de filaments rhizoïdes et grêles. L'ampoule de la racine est en forme de navet, d'une largeur qui peut atteindre 200μ, se réduisant parfois brusquement, mais plus souvent peu à peu, pour se continuer avec le filament végétatif; elle est entièrement remplie de plasma avec des gouttelettes d'huile orangées; l'ampoule du stipe est ellipsoïde, plus rarement sphérique, pouvant atteindre 400μ de longueur et 300μ de largeur, à contenu pauvre, incolore. Le stipe peut atteindre une hauteur d'environ 3 mm. et une largeur de 100-150μ; il est lisse à sa moitié inférieure, hérissé à sa partie supérieure de fines aiguilles d'oxalate de chaux, incolore. L'ampoule subsporangiale ovale ou ellipsoïde (série I, fig. 6) a en moyenne 600μ sur 500μ, elle est hérissée de fines aiguilles, à contenu plasmatique, renfermant de rares gouttelettes orangées très petites et paraissant incolores à l'œil nu. La paroi de l'ampoule, à la ligne circulaire où elle se continue avec la columelle, s'amincit brusquement (série IV, fig. 6). A la limite entre le stipe et l'ampoule subsporangiale, il existe une accumulation de plasma orangé, en forme d'anneau (série I, fig. 6); une zone moins fortement colorée existe dans l'ampoule subsporangiale elle-même au voisinage de la ligne où elle se continue vers le sporange. La columelle est dans son milieu plus ou moins profondément étranglée; elle est largement arrondie à son sommet, elle peut atteindre 200μ de hauteur, à sa base elle peut avoir 200μ de large ou plus; le plasma en est coloré en orangé terne par des gouttelettes d'huile. Sporange convexe, en forme de calotte, recouvert extérieurement de fines aiguilles ou verrues et d'un noir intense dans ses deux tiers supérieurs; haut de 200μ ou plus et large d'environ 400μ. Spores *très variables de forme et de grosseur* (série III, fig. 6), rondes ellipsoïdes ou

ellipsoïdes avec tous les degrés intermédiaires, quelques-unes seulement parfaitement sphériques, longues de 8-20μ, larges de 6-12μ, quelques-unes ayant même 25μ de longueur. Membrane mince, formée d'une seule couche, contenu orangé ou rouge-orangé.

D'après la description qui précède, on pourrait croire que le *P. heteroporus* est affine au *P. Kleinii*. Mais il n'est est rien. Il est à ranger dans une autre section, parmi les espèces dont les spores colorées sont parfaitement sphériques ; il a ceci de commun avec ces espèces, que les spores sortent facilement du sporange quand on le met en contact avec l'eau et se dispersent rapidement dans toute la masse de l'eau. Cette propriété fait défaut chez le *P. Kleinii*.

II. — *Particularité de structure qui assure le détachement du sporange.*

En note, l'auteur attire l'attention sur une particularité qui ne paraît pas avoir été jusqu'à présent mentionnée par les observateurs. C'est l'amincissement brusque de la paroi de l'ampoule subsporangiale, juste à sa ligne de limite avec la columelle, comme on peut le voir dans la planche (série IV, fig. 6, 5 g et 7). C'est en cette partie en forme d'anneau que la paroi de l'ampoule sporangiale se rompt par l'effet de la turgescence et c'est ainsi que peut se produire le détachement et la projection brusques du sporange. Au-dessus et au-dessous de cet anneau aminci, la paroi de l'ampoule subsporangiale est plus épaisse que partout ailleurs, ce qui assure encore mieux la rupture précise suivant cette ligne circulaire. Toutes les espèces de *Pilobolus* que l'auteur a pu observer se comportent sous ce rapport comme le *P. heterosporus*. Chez le *P. longipes* que l'auteur n'a pu se procurer et où, d'après Brefeld, la plupart des sporanges se liquéfient sur place, sans se détacher, il est probable que cette particularité de l'amincissement de la paroi fait défaut ou n'existe qu'à un degré insuffisant pour permettre la rupture sous l'effet de la turgescence.

III. — SYSTÉMATIQUE DU GENRE PILOBOLUS :

EXAMEN CRITIQUE DES ESPÈCES DU GENRE PILOBOLUS, ÉNUMÉRÉES DANS LE SYLLOGE FUNGORUM.

Dans le *Sylloge* de Saccardo, Berlèse et de Toni ont décrit 14 espèces de *Pilobolus* que nous allons passer successivement en revue.

1. *P. reticulatus*. Van Tieghem (troisième mémoire sur les Mucorinées *Ann. des sc. naturelles* 1876, p. 336) donne comme caractère le distinguant du *P. œdipus* le dessin en forme de réseau qu'il

présente au sommet du sporange. Coemans et Grove ont, avec raison, constaté que ce dessin ne pouvait constituer un bon caractère différentiel ; car il n'est pas constant, notamment chez le *P. crystallinus* il peut exister ou faire défaut. De mon côté, j'ai constaté que parfois le *P. Kleinii* présente un réseau qui n'a rien de constant. Du reste, Van Tieghem lui-même ne paraît pas avoir, dans ses publications ultérieures, maintenu cette espèce pour laquelle il n'a donné aucun autre caractère différentiel.

2. *P. pestis-bovinae*. Hallier n'a créé aucune espèce de ce nom. Dans son traité, *Die Parasiten der Infectionskrankheiten*, il décrit un *Pilobolus* qu'il a rencontré sur les excréments des bêtes à cornes et des brebis infectées ; mais il ajoute qu'avant de lui donner un nom, il se réserve de faire de plus amples recherches. D'après sa description et ses figures, on peut seulement conclure qu'il appartient au groupe du *P. Kleinii*, car il ne donne ni la forme de la columelle, ni la forme et la grosseur des spores.

3. *P. crystallinus*. Sous ce nom, on a jusqu'à présent désigné une espèce qui possède des spores petites, presque incolores, une columelle basse et faiblement voûtée, une ampoule subsporangiale ovale et deux ampoules radicellaires. Wiggers n'ayant pas, dans la description de son *Hydrogera crystallina* (1), décrit ses divers organes, il n'est pas possible de savoir si l'espèce qu'il avait en vue était le *P. crystallinus* ; aussi la désignation *P. crystallinus* (Wigg.) Tode par la même raison est à rejeter ; si l'on tient à maintenir ce nom à cette espèce, on ne peut le formuler que comme *P. crystallinus* auctorum ; si on préfère supprimer ce nom, on le remplacerait par *P. microsporus* Klein, car il est certain pour moi que Klein sous ce nom a désigné le *P. crystallinus* auct.

4 *P. Kleinii* van Tieghem (Troisième mémoire, p. 337). Il est caractérisé par sa columelle conique et par ses spores ovales et d'un beau jaune orangé, qui sont plus grosses que celles du *P. crystallinus*. Toutefois la description ne s'applique pas exclusivement à une seule espèce, ainsi qu'on peut le voir par la citation suivante :

« La columelle est conique, souvent un peu étranglée au milieu, ou amincie au sommet en un cylindre étroit, auquel un petit nombre de spores demeurent adhérentes après la séparation artificielle du sporange. L'hémisphère supérieur, cuticularisé et hérissé de verrues creuses, pédicellées comme dans le *P. crystallinus*, présente une coloration noire uniforme. Vivement colorées en jaune orangé, les spores sont ovales aussi, mais renflées latéralement en ellipsoïde, mesurant en moyenne 0mm.015 sur 0mm.008. Elles varient, d'ailleurs, de forme et de grandeur. Dans

(1) *Primitiæ Floræ Holsaticæ*, 1780, p. 110.

les fruits de taille normale, elles sont toutes ellipsoïdales et de la dimension moyenne sus-indiquée, mesurant 0mm.012 à 0mm.020 de long, sur 0mm.006 à 0mm.010 de large. Dans les exemplaires courts que l'on obtient au début des cultures et dans les semis trop serrés, elles sont subsphériques, paraissant sphériques dans certaines positions, et alors de grandeur très inégale dans le même sporange. Enfin, ces mêmes exemplaires à tubes courts ou de taille intermédiaire offrent parfois dans le même sporange des spores subsphériques, d'autres régulièrement ovales, d'autres ovales très allongées, d'autres tout à fait difformes avec les dimensions les plus différentes ». Je crois donc que van Tieghem n'avait pas sous les yeux, quand il a tracé cette diagnose, qu'une seule espèce, mais plusieurs appartenant au groupe du *P. Kleinii*, peut-être même aussi au *P. heterosporus*.

Klein et Brefeld considèrent le *P. Kleinii* comme étant le *P. crystallinus* et cela avec aussi peu de raison, à mon avis, que l'on a considéré jusqu'à présent le *P. crystallinus* auct. comme le *P. crystallinus* (Wigg) Tode. Dans l'ouvrage de détermination, *Die Pilze*, de Wünsche (1877 p. 17), le *P. crystallinus* Tode est le *P. Kleinii*.

5. *P. roridus* (Bolton) Persoon. Bolton, dans son *History of Funguses* III, 1789, a décrit cette espèce sous le nom de *Mucor roridus* et Persoon, dans son *Synopsis methodica Fungorum* (I, 1801, p. 118) l'a rangée dans le genre *Pilobolus*. Dans sa traduction allemande de l'ouvrage de Bolton, Wildenow dit de ce champignon : « Il croît en gazons serrés et il se compose d'un filament simple, long de 4 lignes et transparent. Il est d'un blanc transparent. Il porte un chapeau petit et sphérique, qui a l'aspect d'une goutte de rosée et qui présente à son sommet une tache noire, qui le fait ressembler à un œil. Il se trouve, à Halifax, dans les champs sur le fumier de cheval. On le trouve développé dès le matin et il se flétrit aux premiers rayons du soleil. » En 1875, van Tieghem a rencontré un champignon qu'il a identifié avec le *Mucor roridus*. Cette identification me paraît un peu douteuse : la figure que donne, en effet, van Tieghem, s'écarte de celle de Bolton (planche 132, fig. 4, édition de Wildenow). Je croirais plutôt que Bolton n'a pas eu sous les yeux un *Pilobolus*, mais un *Pilaira*, peut-être le *Pilaira nigrescens*, avec des sporanges diffluents. En tous cas, je crois préférable d'écrire *Pilobolus roridus* (Bolton ?) van Tieghem plutôt que *P. roridus* (Bolton) Persoon. Le *P. roridus* Van Tieghem, que je n'ai pas eu jusqu'à présent le bonheur de rencontrer, me paraît voisin du *P. crystallinus* auct. Van Tieghem identifie aussi le *P. microsporus* Klein avec son *P. roridus*, certainement à tort; car les figures et la description que Klein donne de son *P. micros-*

porus diffèrent du *P. crystallinus* auct. Déjà cette indication de Klein « membrane du sporange, noir bleuâtre, pas verruqueuse » sans la moindre mention de saillies formées par des aiguilles d'oxalate de chaux, aurait du faire hésiter van Tieghem, car il dit de son *P. roridus* expressément : « la membrane du sporange est lisse, seulement hérissée de très fines aiguilles d'oxalate de chaux » et ses figures 8 et 9 montrent très clairement cette échinulation du sporange.

6. *P. longipes* Tiegh. Cette espèce est caractérisée par la longueur de l'ampoule du stipe qui d'ordinaire repose superficiellement sur le substratum, qu'il dépasse de toute sa longueur, et y envoie en divers points des rhizoïdes ; elle a en outre pour caractères ses spores volumineuses, presque sphériques, d'un beau jaune orangé et à paroi épaisse ; la columelle est conique. Je tiens à transcrire ici la description de van Tieghem :

« Ici le réservoir nutritif, à peine renflé en bulbe au-dessus de la cloison qui le sépare de l'apophyse mycélienne, est au contraire fort allongé et presque cylindrique. Comme le pied globuleux du *P. œdipus*, il est en général extérieur au substratum, à la surface duquel il est couché, ressemblant à un petit ver d'un beau jaune d'or long de 1 1/2 à 2 millimètres. En même temps il s'y enracine en divers points et l'un de ces rameaux radicellaires part du voisinage même du sommet. A cette forme du pied on reconnaît l'espèce avant même qu'elle ait fructifié; j'en tire le nom spécifique : *Pilobolus longipes*. — A la maturité du fruit, il s'accumule ordinairement dans ce pied une grande quantité de gouttelettes d'huile d'un beau jaune orangé. Il se désarticule alors facilement de l'apophyse mycélienne. — Le réservoir nutritif une fois formé, son sommet se développe perpendiculairement au pied en un tube fructifère qui atteint ordinairement 2, souvent 3, et quelquefois jusqu'à 4 et 5 centimètres de hauteur, porte un gros renflement ovoïde large de 1 millimètre et plus, et se termine par un sporange de 1/2 millimètre de diamètre. C'est de beaucoup la plus grande espèce connue du genre. La columelle, largement conique, y est teintée de noir bleu, comme dans les espèces précédentes (notamment les *P. crystallinus* et *P. Kleinii*), et la coloration de l'hémisphère cuticularisé y est uniforme comme dans le *P. Kleinii*. Les spores, de forme et de dimension bien constantes, sont ellipsoïdales, mais à peine, presque sphériques, paraissant sphériques par conséquent dans bien des positions ; elles mesurent 0mm.012 à 0 mm.014 sur 0mm.010 à 0mm.012. Leur membrane, mince et incolore dans les autres espèces, est ici relativement épaisse, comme cartilagineuse, et teintée quelquefois très faiblement de noir bleu. Leur protoplasma, incolore et homogène vers la périphérie, où il se confond avec le contour interne de

l'épaisse membrane, est vivement coloré au centre par des granules jaune orangé. La glycérine le contracte en isolant la membrane; la pression l'expulse en crevant cette membrane élastique qui reprend aussitôt sa forme primitive. Vues en masse, les spores paraissent vert sombre, parce que la couleur bleu ardoisé des membranes se mêle et se superpose à la couleur jaune d'or des corps protoplasmiques. » Cette espèce, que je n'ai pas eu malheureusement l'occasion d'étudier, se rattache au *P. Kleinii*. Le *P. roridus* de Brefeld (*Botan. Unters. über Schimmelpilze* IV, 1881, p. 70, Tab. IV, fig. 17) est, — puisque l'auteur ne dit rien de la nature de la membrane de la spore, — sans doute identique au *P. longipes*; de même *P. roridus* Pers. dans le traité de Wünsche *Die Pilze* (1877, p. 17).

7. Le *Pilobolus nanus* Van Tieghem constitue une espèce très nettement déterminée. Il a été trouvé sur le fumier de rat et il se distingue de toutes les autres espèces par la couleur jaune (au lieu d'être noire) de la membrane cuticularisée du sporange. Il possède des sporangiophores qui ont à peine la hauteur d'un millimètre, aussi est-elle la plus petite de toutes les espèces connues jusqu'à présent; les sporangiophores sont disposés les uns à côté des autres par groupes de deux à cinq et naissent d'un renflement mycélien intercalaire qui se partage par des cloisons en autant de cellules qu'il y aura de sporangiophores. L'ampoule subsporangiale est presque sphérique et forme à son extrémité supérieure une toute petite apophyse sur laquelle repose le sporange. La columelle est, comme chez le *P. roridus* et fréquemment aussi chez le *P. crystallinus*, en forme de voûte aplatie, ressemblant à un verre de montre. Les spores sont incolores, sphériques et mesurent seulement de 3,5 à 4μ. Dans l'intérieur du substratum, le mycélium forme des azygospores. Malgré mes nombreuses démarches, je n'ai pas encore pu obtenir vivante ou en préparation cette intéressante espèce qui, elle aussi, est caractérisée par l'absence de coloration du plasma.

8, 9 et 10. Les *P. minutus, argentinus* et *roseus* sont trois espèces que Spegazzini a découvertes dans la République Argentine et qu'il a décrites dans les *Anal. de la Societad cientif. Argent.*, entrega IV, tomo IX. Les diagnoses, qui ne me sont connues que par le *Sylloge Fungorum*, fournissent peu de données sur le nombre des ampoules des racines, la forme de la columelle et sur la nature de la matière mucilagineuse interstitielle du sporange; aussi ne peut-on constater avec certitude leur parenté avec les espèces européennes; il paraît seulement probable que le *P. minutus* se rapproche du *P. Kleinii*, le *P. argentinus* du *P. œdipus*, le *P. roseus* du *P. crystallinus*.

11. *P. œdipus* Montagne (*Mém. de la Soc. Linn., de Lyon*, 1826).

D'après van Tieghem et Grove qui l'ont cultivé, c'est une espèce qui a pour caractères, d'un côté, la petitesse des sporangiophores et, de l'autre, la forme sphérique des spores et l'épaisseur de l'épispore. Voici, par exemple, ce qu'en dit van Tieghem : « Coemans ne reconnait dans ce genre que deux espèces certaines, le *Pilobolus crystallinus* Tode et le *P. œdipus* Montagne. Mais en revanche, il les regarde comme très nettement caractérisées, la première.....; la seconde, par ses tubes fructifères courts et trapus, et ses spores sphériques, de diamètre très inégal dans un même sporange, plus grandes, à épispore distinct. » Grove dit du *P. œdipus* : « Spores jaunes, sphériques, assez inégales, 10,5 — 14,5μ avec un épispore distinct, épais, bleuâtre. » Dans le *Sylloge Fungorum* VII, 1, p. 186, le *P. œdipus* est décrit comme suit : « Hyphis sporangiferis brevibus, 1-2 mm. altis, crassiusculis, ventricoso-clavatis, basi bulbiformi, lutea : sporangiis sphaeroideis, usque ad 400μ latis, cuticula violaceo-fusca praeditis; columella cylindro-conica; sporis sphaeroideis, in eodem sporangio inaequalibus, episporio crasso, 10-18μ diam., pallidis ».

L'auteur n'a pu réussir à se procurer cette espèce qui paraît être surtout indigène dans l'Europe occidentale. L'espèce que Cohn désigne sous le nom de *P. crystallinus* dans son ouvrage « Die Entwicklungsgeschichte des *Pilobolus crystallinus* » est le *P. œdipus*.

12. *P. exiguus* Bainier se rapproche extrêmement, d'après l'auteur qui a créé cette espèce, du *P. œdipus*. Bainier dit : « Les spores sont relativement énormes et inégales dans le même sporange mesurant 0mm.0147, 0mm.0168 et 0mm.021. Le renflement supérieur est peu prononcé, tandis que le renflement inférieur est arrondi et beaucoup plus développé. Ce dernier est toujours caché dans le substratum. Lorsqu'on parvient à l'isoler on y remarque une apophyse mycélienne analogue à celle des autres Pilobolus. En un mot, il ressemble beaucoup au *Pilobolus œdipus*, mais s'en distingue par sa petite taille et ses grosses spores. J'ai cultivé longtemps cette plante, jamais je n'ai pu obtenir de plus gros spécimens que ceux que j'ai présentés dans les préparations qui servent de point d'appui à ce travail. Si elle n'est qu'une forme atrophiée du *Pilobolus œdipus*, je ne m'explique pas la persistance qu'elle a mise à refuser de se développer davantage. » Le *P. exiguus* ne se distinguerait donc, d'après Bainier, du *P. œdipus* que par sa taille plus petite et par ses spores plus grosses. Bainier ne dit rien dans sa diagnose de l'épaisseur de la membrane des spores. Mais quoique deux pages plus haut il ait dit expressément dans la description du *P. œdipus* : « Les spores .. possèdent une épispore distincte », il représente dans la figure de sa nouvelle espèce les

spores avec un simple contour. J'ai de mon côté observé et élevé en culture pure un *Pilobolus* à spores à paroi mince qui concordait avec le *P. exiguus*, ce qui me fait croire que Bainier a exactement représenté les spores de son *P. exiguus*, mais qu'influencé par la concordance ordinaire des caractères de cette espèce avec le *P. œdipus*, il n'a pas pris soin de remarquer la différence qui existe entre les deux espèces en ce qui concerne l'épaisseur de la paroi des spores.

On doit rattacher le *P. exiguus* au *P. sphaerosporus* (Grove), dont il serait une sous-espèce.

13. Le *P. intermedius* est le *P. œdipus* variété *intermedius* Coemans élevée au rang d'espèce par Karsten. Karsten en dit : « Sporangia aggregata, hemisphaerica, nigra, unicoloria. Hyphae sporangiiferae 2-5 cm. altae, lutescentes, apice ventricoso-clavatae. Sporae sphaeroideae vel sphaeroideo-ellipsoideae, episporio crasso, dilute flavae (sub. micr.), longit. 12-17 mmm., crassit. 11-15 mm. aut diam. 11-15 mm. Syn. *Pilobobus œdipus* Mont. var. *intermedius* Coem. Spec. myc. 6. *P. longipes* v. Tiegh. l. c. — Exsicc. Karst. Fung-Fenn. — Hab. In stercore equino in Fennia saltem australi post pluvias, vere et aestate passim ». Coemans (1), au contraire, caractérise son champignon de la façon suivante : « Entre ces deux espèces (c'est-à-dire entre le *P. œdipus* et le *P. crystallinus*, ce dernier étant ici identique à *P. Kleinii*), se trouve une variété du *P. œdipus* que je nommerai *intermedia* ; elle est caractérisée par des spores subglobuleuses ou subglobuleuses-ellipsoïdes, mesurant le plus souvent 0,014-16 mm. de longueur sur 0,011-14 mm. de largeur. Mon ami, M. Nylander, me l'a envoyée de Kola en Laponie (69° lat.), et elle est très répandue en Scandinavie et en Finlande sur les bouses de vache. Je l'ai observée aux environs de Gand sur les crottins de cheval. » D'après ces deux descriptions, il est impossible que le *P. intermedius* Karsten et le *P. œdipus* var. *intermedia* Coemans soient identiques.

Le *P. crystallinus* Coemans, d'après les figures données dans la *Monographie du genre Pilobolus* et d'après les dimensions des spores relatées dans les *Recherches sur le polymorphisme* (1), se rapporte surtout au *P. Kleinii ;* son *P. œdipus* se rapporte sans doute aussi en grande partie au *P. sphaerosporus* (inclus *P. exiguus*). Il en résulte que la forme que Coemans avait en vue est ou une des « petites espèces » incluses dans le *P. Kleinii* ou le *P. heterosporus*. Le *P. œdipus* var. *intermedia* Coemans nous paraît donc devoir être rayé.

(1) *Recherches sur le polymorphisme et les différents appareils de reproduction chez les mucorinées.* (Bull. de l'Acad. d. sciences de Belgique, t. XVI, 1863, p. 71).

Quant au *P. intermedius* Karsten, il est certainement le *P. longipes* Tiegh., d'après la description même de l'auteur qui du reste cite le *P. longipes* comme synonyme de son espèce.

14. Le *P. lentigerus* Corda, que son auteur a plus tard élevé au rang de genre (*Pycnopodium*), est décrit par Corda avec les caractères suivants : « Stipite crasso, clavato, carnoso, aureo, intùs pleno, albo, extùs furfuraceo; hyphasmate pallido; sporangio lentiformi, acutangulo, olivaceo; sporis globosis. » Doit-on y voir réellement un *Pilobolus*, ou, au contraire, une forme quelconque attaquée par un parasite? La figure ni le texte ne donnent aucune certitude à cet égard. En tous cas, le nom de *P. lentigerus* Corda est à supprimer.

Grove l'identifie avec son *P. Kleinii*, forme *sphaerospora* et dit de cette forme : « Sporis irregularibus, ut plurimum sphaericis granulosis — Van Tiegh. troisième mém. p. 26. — *Pilobolus lentigerus* Corda, Icon. I, fig. 286 (1837); Bonorden, Handbuch, p. 128, (1851). — *Pycnopodium lentigerum* Corda, Icon. V, p. 18 (1842). — *Pilobolus crystallinus* Bonorden, Handb., p. 128, fig. 203 (1851). — *P. œdipus* (*b* et *c*) Klein, l. c., p. 360, pl. 27, fig. 50; pl. 26, fig. 40 *b* (1870); Brefeld, Bot. Unt., IV, p. 69, pl. 4, fig. 14 (1881). Cette espèce se distingue par ses spores qui sont souvent exactement sphériques, quelquefois elliptiques, arrondies, et de formes différentes dans le même sporange, présentant d'ordinaire de nombreux grains, sans épispore apparente, oranges ou jaunes, variant beaucoup de taille, celles qui sont rondes atteignant 12-16 μ en diamètre. Cette forme apparait d'ordinaire d'abord dans une culture de *P. Kleinii* et passe ensuite graduellement à la forme normale, mais quelquefois j'ai trouvé qu'elle reste sans changement une semaine ou deux. La figure et la description que Corda donne de son *Pycnopodium* représente évidemment un stade mal nourri de l'espèce qui nous occupe et non du *P. œdipus*; et cette forme est aussi le *P. crystallinus* de Bonorden et le *P. œdipus* de Klein et de Brefeld. »

Ce *Pilobolus Kleinii*, forma *sphaerospora* Grove, mentionnée dans le *Sylloge Fungorum*, comme *P. lentiger*, var. *macrosporus* Berl. et de Toni, appartient au groupe du *P. œdipus* et non du *P. Kleinii*; c'est une espèce particulière que je propose de désigner sous le nom de *P. sphaerosporus* (Grove). Elle est très commune en Autriche. C'est une espèce collective à laquelle appartient aussi le *P. exiguus* Bain. Comme le remarque avec raison Grove, le *P. œdipus* de Klein et de Brefeld n'est pas l'espèce de Montagne, mais bien le *P. sphaerosporus*. Mais Grove fait erreur, quand il croit que le *P. sphaerosporus* passe dans les cultures au *P. Kleinii*. Ses cultures n'étaient pas pures, elles étaient infestées de *P. sphaerosporus*. Les sporangiophores de celui-ci apparaissaient les premiers,

plusieurs jours avant ceux du *P. Kleinii*. C'est ainsi que s'explique l'erreur de Grove. L'auteur n'a jamais rien observé de pareil dans les cultures pures qu'il a faites du *P. Kleinii*.

IV. — TABLEAU DES SECTIONS ET DES ESPÈCES DU GENRE PILOBOLUS

Tode, Beschreibung des Hutwerfers. (*Schrift. d. Berl. Ges. naturf. Freunde*, V, 1774).

A. Sous-genre XANTHO-PILOBOLUS. Ampoule subsporangiale étranglée en une courte apophyse au-dessous du sporange. Paroi du sporange jaune, cuticularisée. Sporangiophores de 2-5 en une série les uns à côté des autres. *Columelle en voûte aplatie. Spores incolores. Des azygospores* (1).

1. P. NANUS Tiegh. Troisième mémoire sur les Mucorinées (Ann. sc. nat., t. IV, 1876). — *Sporangiophores hauts tout au plus de 1 mm. Ampoule subsporangiale presque sphérique, incolore. Paroi du sporange finement hérissée d'aiguilles d'oxalate de chaux*, 3, 5-4 μ *de diam. Plasma des sporangiophores incolore.*

B. Sous-genre MELANO-PILOBOLUS. Ampoule subsporangiale non étranglée. Paroi du sporange cuticularisée noire (ou variant du noir violet au noir brun). Sporangiophores uniques (tout à fait exceptionnellement au nombre de deux, l'un à côté de l'autre). *Columelle présentant différentes formes depuis la voûte aplatie jusqu'au cône, avec ou sans étranglement. Spore incolore ou colorée. Azygospores inconnues.*

1re Section. LEUCOSPORES. — Sporangiophores ayant d'ordinaire une situation intercalaire et à cause de cela offrant à leur base deux racines renflées en ampoule. Columelle en voûte aplatie ou légèrement conique, *sans étranglement*. Spores, vues isolément, incolores ; vues en masse, blanchâtres ou blanc jaunâtre, longueur 5-10 μ (quelquefois jusqu'à 12 μ), largeur 3-6 μ.

2. P. RORIDUS (Bolt.?) Tiegh. Nouvelles recherches sur les mucorinées (Ann. sc. nat., t. I, 1875). — Ampoule subsporangiale presque aussi longue que haute, variant de la forme ovale à une forme presque sphérique. Sporange n'ayant que le tiers de la largeur de l'ampoule subsporangiale. Paroi du sporange hérissée de fines et fragiles aiguilles d'oxalate de chaux. *Spores ellipsoïdes, longues de* 6-8 μ, *larges de* 3-4 μ.

3. P. CRYSTALLINUS aut. — Ampoule subsporangiale environ un tiers plus haute que large, ovale ou ellipsoïde. Sporange ayant environ la moitié de la largeur de l'ampoule subsporangiale. Paroi

(1) Les caractères qui ne sont qu'accessoires ou qui ne sont pas nettement opposés à ceux des autres espèces sont imprimés en lettres italiques.

du sporange non hérissée de cristaux, lisse ou finement verruqueuse. *Spores ellipsoïdes, longues de 5-12 μ, larges de 3-6 μ.*

Sous ce nom sont groupées plusieurs petites espèces.

Syn. : *P. microsporus* Klein, Zur Kenntniss des Pilobolus (Jahrb. f. wiss. Bot., VIII, 1872).

II[e] Section. CHROMOSPORI. — Sporangiophores le plus souvent terminaux et pour ce motif n'offrant à leur base qu'une seule racine renflée en ampoule. Columelle conique ou cylindrique, ayant d'ordinaire plus de hauteur que de largeur, *avec ou sans étranglement.* Spores variant du jaune-orangé au rouge orangé, longues de 9-25 μ, larges de 6-12 μ, ou, si elles sont sphériques, ayant de 8 à 25 μ de diamètre.

a) Groupe des espèces se rattachant au *P. Kleinii.*

Matière mucilagineuse interstitielle fort développée et tenace. La plupart de grande taille.

4. P. LONGIPES Tiegh. Troisième mémoire sur les mucorinées (Ann. sc. nat., t. IV, 1876)). — Sporangiophores hauts de 2-5 cm. Ampoule du stipe reposant sur le substratum, 1-2 mm. Spores presque sphériques, avec une membrane épaisse, plus ou moins noir bleuâtre, *longues 12-14 μ, larges de 10-12 μ. Columelle conique, sans étranglement.*

Syn. : *P. intermedius* Karsten. Mycologia fennica, IV, 1879. — *P. roridus* Brefeld, Botanische Untersuchungen über Schimmelpilze, IV (1881).

5. P. KLEINII Tiegh. Troisième mémoire sur les mucorinées (Ann. sc. nat., t. IV, 1876). — Sporangiophores hauts seulement de quelques millimètres. Ampoule du stipe d'ordinaire enfouie dans le substratum, longue tout au plus de 1 mm. Spores larges ou légèrement ellipsoïdes, avec une membrane mince, incolore, *longues de 9-15 μ, larges de 6-10 μ. Columelle conique ou cylindrique, sans étranglement ou étranglée, en forme de cloche. Zygospores observées* (1). *Groupe très nombreux de petites espèces.*

Syn. : *P. crystallinus* Klein. *Zur Kenntniss des Pilobolus* (Jahrb. f. wiss. bot. 1872), et d'autres auteurs.

b. Groupe du *P. œtipus.* — Matière mucilagineuse interstitielle peu développée et moins tenace. Espèces petites. *Columelle presque constamment étranglée. Spores le plus souvent inégalement grosses.*

6. *P. heterosporus* Palla. Spores elliptiques ; quelques-unes seulement étant sphériques ; paroi mince.

(1) Par Zopf (*Zur Kenntniss der Infectionskrankheiten niederer Thiere und Pflanzen* in *Nova acta der Kal. Leop. Carol. Deutsche Akad. d. Naturf.* Bd. LII, n° 7, 1888). Zopf parle du *P. crystallinus* ; mais le champignon est, d'après les fig. 1 et 2 de la planche XXII, l'une des espèces se rattachant au *P. Kleinii*.

7. *P. sphaerosporus* (Grove) Palla (inc. *P. exiguus* Bain. Observations sur les Mucorinées, Ann. sc. nat. t. XV, 1883). Spores sphériques, quelques-unes seulement présentant une autre forme ; paroi mince. — Groupe d'espèces.

Syn. : *P. Kleinii*, forma *sphaerospora* Grove, New or note worthy Fungi (The Journal of bot. british and foreign, XXII, 1884). — *P. lentiger* var. *macrosporus* Berlèse et de Toni, Sylloge Fungorum, VII. 1. — *P. œdipus* de plusieurs auteurs.

8. *P. œdipus* Mont. (Mém. de la Soc. lin. de Lyon, 1826). Spores sphériques avec une membrane épaisse composée de deux couches.

Syn. : *P. crystallinus* Cohn. Die Entwicklungsgeschichte des Pilobolus crystallinus (Nova acta Leop. XV, 1851).

V. — CLÉ POUR LA DÉTERMINATION DES ESPÈCES.

1 Sporangiophores isolés (exceptionnellement deux l'un à côté de l'autre). Ampoule subsporangiale sans étranglement. Paroi du sporange cuticularisée, noire (ou variant du violet noir au brun noir)..... 2

Sporangiophores groupés les uns à côté des autres au nombre de 2-5. Ampoule subsporangiale présentant sous le sporange un étranglement en forme d'anneau. Paroi du sporange cuticularisée, jaune. *Sporangiophores hauts tout au plus de 1 mm. Ampoule subsporangiale presque sphérique, incolore. Columelle variant de la forme aplatie à la forme en verre de montre. Spores incolores, sphériques, 3,5=4μ de diam..... nanus*

2 Spores (*elliptiques*) incolores quand elles sont vues isolément, longues de 5-10μ (exceptionnellement jusqu'à 12μ), larges de 3-6μ. Sporangiophores le plus souvent avec deux racines renflées en ampoule. *Columelle en voûte aplatie ou légèrement conique, sans étranglement*..... 3

Spores (*elliptiques ou sphériques, aussi exceptionnellement en forme d'œuf ou de biscuit*), à contenu dont la couleur varie du jaune orangé au rouge orangé, les spores elliptiques longues de 10-25μ (et même exceptionnellement de 8 à 10μ), larges de 6-12μ; les spores sphériques 8-25μ de diam. Sporangiophores le plus souvent avec une seule racine renflée en ampoule. Columelle variant de la forme conique à la forme cylindrique, ayant habituellement une hauteur supérieure à son plus grand diamètre en largeur. *Présentant fréquemment un étranglement*..... 9

3 Le sporange ne possède que le tiers de la largeur de l'ampoule subsporangiale, qui est presque aussi large que haute et dont la forme varie depuis celle d'un ovale allongé jusqu'à celle d'une sphère. Paroi du sporange hérissée de fines aiguilles d'oxalate de chaux. *Spores longues de 6-8μ, larges de 3-4μ.... roridus*

Le sporange possède la moitié de la largeur de l'ampoule subsporangiale, qui est environ un tiers plus haute que large, ovale ou elliptique. Paroi du sporange non hérissée d'aiguilles, lisse ou finement verrugueuse-aculéolée. *Spores longues de 5-12μ, larges de 3-6μ. Groupe d'espèces..... crystallinus*

4 { Spores, si on écrase le sporange dans l'eau, ne s'échappant pas facilement, *d'ordinaire de taille uniforme. Espèces grandes, la plus part*..... 5
Spore se séparant facilement dans l'eau, *d'ordinaire de taille inégale. Espèces petites*..... 6

5 { Spores presque sphériques, avec une membrane épaisse, d'ordinaire plus ou moins fortement colorée (noir bleuâtre). Ampoule du stipe reposant sur le substratum, longue de 1-2mm. Sporangiophores hauts de 2-5cm..... *longipes*
Spores largement ou étroitement elliptiques avec une membrane mince, incolore. Ampoule du stipe le plus souvent enfouie dans le substratum, longue de 1mm. tout au plus. Sporangiophores hauts de quelque millimètres seulement. *Groupe d'espèces*... *Kleinii*

6 { Spores sphériques, seulement quelques-unes elliptiques, ovales ou en forme de biscuit..... 7
Spores elliptiques, seulement quelques-unes parfaitement sphériques. *Membrane de la spore mince*..... *heterosporus.*

7 { Membrane de la spore mince, à une seule couche. *Groupe d'espèce (incl. P. exiguus)*..... *sphærosporus*
Membrane de la spore épaisse, formée de deux couches. *œdipus.*

Explication des planches CCXXXVII et CCXXXVIII.

Série I. — Sporangiophores (Gross.=10). Les numéros 1, 2, 3, etc., de cette série répondent aux numéros adoptés ci-après dans le tableau des numéros des espèces : 1. *Pilobolus nanus*, — 2. *P. roridus*, — 3. *P. crystallinus* des auteurs : α d'après Klein, β d'après Brefeld, — 4. *P. longipes*, — 5. *P. Kleinii* : *a* d'après Van Tieghem ; *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, petites espèces d'après les observations de l'auteur, — 6. *P. heterosporus* Palla, — 7. *P. sphærosporus* (Grove) Palla, — 8. *P. œdipus.*

Série II. — Columelle et partie supérieure de l'ampoule subsporangiale, après enlèvement du sporange (Gross.=50). Même observation concernant les chiffres 1, 2, 3, etc., qui répondent aux mêmes espèces.

Série III. — Spores. Gross.=300. (Même observation en ce qui concerne le numéro correspondant à chaque espèce de *Pilobolus.*)

Série IV. — Ligne de limite entre la columelle et l'ampoule subsporangiale, ligne suivant laquelle se produit la rupture et le détachement du sporange. Le sporange n'est pas représenté dans cette figure. Gross.=300.

Fig. 6. — *P. heterosporus.*

Fig. 5 g. — *P. Kleinii*, « petite espèce observée par l'auteur. »

Fig. 7. — *P. sphærosporus.*

Série V. — Zygospores de *Pilobolus Kleinii* (Gr.=80) d'après Zopf, *Zur Kenntniss der Infectionskrankheiten niederer Thiere und Pflanzen* (Nova acta der kgl. Léop.-Carol. D. Akad. d. Naturf. LII, 1888), planche XXII, figures 12 et 13.

Série VI. — Azygospores de *P. nanus*, d'après Van Tieghem. Troisième mémoire sur les Mucorinées (Ann. de sc. nat. 6, Bot. IV, 1876, pl. X, fig. 22).

TABLEAU INDIQUANT LA CORRESPONDANCE DES ESPÈCES AVEC LES NUMÉROS DES PLANCHES

1. PILOBOLUS NANUS Tiegh. D'après Van *Tieghem*. Trois. mém. s. l. muc. (Ann. d. sc. nat. 6, IV, 1876), Pl. 10, fig. 16, 20 et 21.
2. P. RORIDUS (Bolt. ?) Tiegh. D'après Van *Tieghem*, Nouvelles recherches sur les mucorinées (Ann. d. sc. nat. 6, I, 1875), Pl. 1. fig. 8, 13, 9 et 10.
3. P. CRYSTALLINUS aut. *α* D'après *Klein*, Zur Kenntniss des Pilobolus (Jahrb. f. wiss. Bot. VIII, 1872), Pl. XXVIII, fig. 62 et 65; *β* D'après *Brefeld*, Botanische Untersuchungen über Schimmelpilze, IV (1881), Pl. IV, fig. 16.
4. P. LONGIPES Tiegh. D'après Van *Tieghem*, Trois. mém. s. l. muc. (Ann. d. sc. nat. 6, IV, 1876), Pl. 10, fig. 11, 14 et 15.
5. P. KLEINII Tieg. *a* D'après Van *Tieghem*, Trois. mém. s. l. muc. (Ann. d. sc. nat. 6, IV. 1876). Pl. 10, fig. 6, 7 et 10; *b-i* Petites espèces. D'après les propres observations de l'auteur.
6. P. HETEROSPORUS Palla. D'après les propres observations de l'auteur.
7. P. SPHÆROSPORUS (Grove) Palla. D'après les propres observations de l'auteur.
8. P. ŒDIPUS Ront. D'après Cohn, die Entwicklungsgeschichte des Pilobolus crystallinus (Nova acta Leop., XV, 1851), Pl. 52, fig. 10 et 12, Pl. 51, fig. 2.

BIBLIOGRAPHIE

MOLLER (A). — **Untersuchungen über ein-und zweijährige Kiefern im mârkischen Sandboden. (Recherches sur des plants du pin sylvestre âgés d'un à deux ans, cultivés au sable de la Marche de Brandebourg)**, *Zeitschrift für Forst-und Jagdwesen*, années XXXIV, 1902, p. 197-215; XXXV, 1903, p. 257-272-321-338, avec quatre planches. (Analyse de G. SARAUW, de Copenhague).

En été 1899, une nouvelle *division mycologique* fut établie à la station principale d'expériences forestières de la Prusse, à Eberswalde, ville située à 45 kilomètres au nord-est de Berlin. Dès le printemps de 1900, l'auteur, nommé directeur de la dite division mycologique, a commencé à faire une série de recherches sur le développement des *racines* du Pin sylvestre en sol sablonneux de la contrée.

Parmi les problèmes théoriques et pratiques qu'il s'est proposé de résoudre étaient spécialement les questions sur l'existence des mycorrhizes et sur le rôle qu'on leur a attribué pour l'assimilation de l'azote à l'aide des champignons symbiotiques.

Les mycorrhizes ectotrophiques sont bien caractéristiques pour le Pin sylvestre; mais aussi chez lui la forme endotrophique est très commune et très répandue, trouvée par l'auteur dans ses racines un peu partout.

Pour étudier la formation des mycorrhizes dans la terre des différentes couches dont se compose le sol ordinaire des forêts de Pin, on a fait une série de cultures parallèles : dans des caisses en bois remplies de ces terres, on a semé et cultivé de jeunes Pins sylvestres.

La station où l'on a pris ces matériaux, était un peuplement de Pins âgés d'environ cent ans sous lesquels le sol était couvert d'une végétation de *Vaccinium Myrtillus*, *Vaccinium Vitis-idaea*, *Hypnum Schreberi* et *Hypnum splendens*, comme cela se trouve sur une grande étendue. La coupe du sol montrait les couches superposées suivantes, en commençant par le haut : 1° une couche épaisse de 8 cm., d'*humus acide filamenteux non décomposé* (en allemand « Rohhumus »), présentant l'aspect de la tourbe ; puis 2° une couche de 4 cm. *d'humus acide noir plus décomposé*, très recherché par les horticulteurs pour leurs cultures ; ensuite viennent, 3° le sable gris, lavé par les acides humiques nommé *sable plombé* (« Bleisand ») épais de 11 cm. ; 4° le *sable jaune* ordinaire sous-jacent, du sous-sol, au milieu duquel commence à se former çà et là du limonite (« Ortstein »).

Les caisses étaient hautes de 35 centimètres ; un arrangement simple permettait d'en ôter une partie des plantes qui y étaient cultivées, sans gêner les autres. Une caisse était remplie d'humus, une autre de sable plombé, etc. ; d'autres, encore, ont été remplies de mélanges de ces terres.

Dans le sable plombé et dans le sable jaune, tous les deux très pauvres en humus, les mycorrhizes se sont largement développées, preuve que ce n'est nullement la richesse en humus qui est la cause de leur luxuriance. Tout au contraire, dans l'humus acide filamenteux, non décomposé (mais artificiellement un peu émietté), les mycorrhizes ectotrophiques faisaient complètement défaut. Ainsi le théorème de M. Frank énonçant un rapport direct entre l'existence de ces mycorrhizes et la teneur du sol en humus est, au moins en ce qui concerne le Pin sylvestre, réfuté par ces cultures.

Dans l'humus acide filamenteux, la croissance des plantes, et pour la cime et pour les racines, a été la plus puissante, preuve que l'absence des mycorrhizes (ectotrophiques) n'est en rien défavorable à la croissance du pin, et que celui-ci peut très bien se passer de ces mycorrhizes.

Les plants les moins robustes ont été produits par le sable jaune, riche en matières minérales assimilables, mais pauvre en matières azotées, tandis que l'humus acide décomposé et le sable plombé ont donné des résultats intermédiaires.

Des photographies reproduites sur les planches présentent l'aspect des cultures de plusieurs plants déterrés et débarrassés de la terre qui y était adhérente afin de faire voir les racines. En outre des cultures faites dans des sols purs et dans des sols intimément mélangés, on a fait des cultures dans des sols disposés par couches. La stratification alors était ou horizontale ou verticale. En ce dernier cas, une plaque, une paroi en verre qui s'arrêtait un peu au-dessous (à environ 1 centimètre) de la surface du sol dans la caisse séparait les différentes sortes de terrain entre lesquelles le plant avait ainsi un choix libre. La partie supérieure de la caisse a été remplie, sur une faible hauteur, d'un mélange de terres à essayer, toujours l'humus acide

filamenteux a été, par les racines qui s'y développaient sans mycorrhizes ectotophiques, préféré aux autres espèces du sol qui étaient offertes à la plante. De même, le sable plombé a été préféré au sable jaune.

En vérité, il faut reconnaître que cette méthode de culture donne des renseignements très précis et de haute importance sur la valeur relative des sols divers pour le développement des plantes avec ou sans mycorrhizes.

Une autre série de cultures avait pour but de démontrer le rôle de l'azote comme élément contenu dans ces terres.

Des pins cultivés dans les sables jaunes du sous-sol très pauvre en azote ou même sur un sol de sable tertiaire complètement dépourvu de matières nitrogènes, ont très nettement présenté les symptômes de la maladie dite « faim d'azote », qui, à son tour, a été guérie, pour un lot de ces plants, en leur fournissant du nitrate de sodium.

La différence a été la même que celle constatée entre les plantes cultivées en sable jaune et à l'humus acide. Aussi faut-il conclure que l'azote de l'humus est assimilé par les racines du pin exemptes de champignon ectotrophique, et que c'est bien cette teneur en azote assimilable qui est la condition de la supériorité de l'humus. La tourbe ordinaire n'a pas montré ces qualités favorables appartenant à l'humus.

En collaboration avec M. E. Ramann, professeur de chimie agricole à Munich, l'auteur a fait une série d'expériences sur la question de savoir si le pin et le chêne peuvent, à l'aide de leurs mycorrhizes, assimiler l'azote libre de l'air. Pour ces deux espèces, les expériences ont donné une solution négative : ni l'une, ni l'autre, même possédant des mycorrhizes luxuriantes, n'ont pu assimiler une quantité sensible de l'azote de l'air.

Du nitrate de sodium ayant été ajouté aux cultures, les mycorrhizes ectotrophiques ont présenté un développement beaucoup plus riche qu'au cas contraire, tandis que les mycorrhizes endotrophiques n'ont été que peu influencées et plutôt dans le sens inverse.

Très intéressantes sont les cultures, entreprises par l'auteur, des champignons mycorrhizogènes des racines. Des mycorrhizes ectotrophiques de jeunes plants ont été coupées en petits morceaux après avoir été soigneusement lavées dans de l'eau de source. Des tranches étaient placées dans de la gélatine nutritive stérilisée. Après deux jours, on pouvait observer un développement des filaments mycéliens qui partout se présentaient sous la même forme, et, chose remarquable, le champignon qui s'est développé a été reconnu pour le *Mucor heterogamus* découvert et nommé en 1886 par Vuillemin, mais jusque-là inconnu en Allemagne. Cette espèce avec les zygospores a été obtenue sur les mycorrhizes du *Pinus sylvestris*, du *Pinus strobus*, du *Picea excelsa* et du *Quercus*. Nouvellement, M. Vuillemin en a fait le *Zigorhynchus Mölleri* (*Bull. de la Soc. mycol. de France*, 1903). Aussi le *Mucor spinosus* s'est trouvé sur des mycorrhizes du pin. Une nouvelle espèce, nommée par l'auteur *Mucor Ramannianus*, et une troisième espèce ayant une grande affinité avec le *Clamydomucor racemosus*, ont été obtenues en cultivant les mycorrhizes des pins provenant des marais de la Bavière.

Dans la *Kryptogamenflora der Mark Brandenburg*, l'auteur donnera la description de ces champignons comme celle des autres Zygomycètes, dont il s'est proposé de traiter. Du reste, il ne pense pas que ces Mucoracées soient toutes mycorrhizogènes ; au contraire, les filaments mycéliens *cloisonnés*, formant du plectenchyme, lui font soupçonner que d'autres champignons entrent dans la symbiose avec les racines.

La synthèse des mycorrhizes a été réalisée en infectant les racines du pin par le mycélium du *Mucor*. Trois pots à fleurs remplis de sable jaune stérilisé étaient posés l'un dans l'autre. Dans le plus petit, qui était en même temps le supérieur, on a semé et cultivé un plant de pin dont les racines ont pénétré à travers les trous au fond des pots. Dès qu'elles eurent franchi ce passage, les racines furent attaquées et envahies par le champignon qui se trouvait dans le vase extérieur. C'est ainsi qu'on parvint à réaliser la symbiose.

L'auteur se propose de poursuivre ces diverses expériences.

Dans l'étude des mycorrhizes en général, on s'est jusqu'à présent occupé de préférence à formuler des théories et à établir des hypothèses qui abondent. A présent est venu le moment d'instituer des recherches et des expériences longues, fatigantes, sérieuses, c'est cette nouvelle méthode que l'auteur inaugure.

Môller A. — **Ueber gelungene Kulturversuche des Hausschwammes (MERULIUS LACRYMANS) aus seinen sporen** (*Hedw.* 1903, p. 6-14, tab. 11). **Sur un essai de culture couronné de succès du MERULIUS LACRYMANS à partir de la spore.**

La spore du *Merulius lacrymans* est ovale, un peu comprimée sur un côté de la longueur et présente à sa base un petit renflement incolore ; elle a 9,6-11μ de long sur 5,6-6,4μ de large.

En semant les spores dans une solution d'extrait de malt, à la température de 25°, on obtient une abondante germination, et déjà au bout de 48 heures on observe des ramifications du mycélium. Une température basse (18° c) de même qu'une température élevée (35° c) retarde et entrave la germination. L'auteur employait un extrait neutre. En y ajoutant (à la température de 25° c) une solution d'acide citrique à 1 %, la germination se produisait aussi toutefois avec moins de vigueur. Au contraire une solution de carbonate de potasse empêchait toute germination à n'importe quelle température.

Le carbonate d'ammoniaque, ajouté à la dose de 1 %, n'a pas empêché la germination, mais en a considérablement réduit l'activité.

Au contraire, le phosphate d'ammoniaque, ajouté à la dose de 1 % à l'extrait de malt, a considérablement augmenté l'activité de la germination, à ce point que presque toutes les spores ont germé.

Il est à noter que les spores des fruits mûrs se ressemaient dans les cultures et germaient même plus facilement que celles qu'on y introduisait avec une aiguille. Plus les spores étaient fraîches, plus était forte la proportion dans laquelle elles germaient.

Par la privation d'aliments, on peut obtenir, sur des mycéliums déjà développés, une sorte de gemmes.

Le prostoplasma se réunit dans les filaments mycéliens en seg-

ments, de 10-15μ de long, séparés les uns des autres par des espaces vides de pareille longueur. Aussitôt que l'alimentation redevient suffisante, ces formations disparaissent.

La formation de boucles unissant entre elles deux cellules séparées par une cloison ne survient qu'au 3e ou 4e jour. A ce moment, il se produit sur les côtés du mycélium de nombreuses pousses latérales, courtes, chétives et ramifiées qui sont le plus souvent privées de boucles. Sur les autres filaments qui, au contraire, s'allongent en rayonnant, il se produit une abondante formation de boucles.

Les cultures que l'on fait sur le porte-objet dans une goutte de liquide nourricier, ne durent pas plus de 14 jours, parce qu'au bout de ce temps les aliments de la goutte liquide sont épuisés. Si l'on veut poursuivre la culture, il faut la transporter dans des flacons où on peut la maintenir florissante pendant longtemps.

Macchiati. — **Sur la photosynthèse en dehors de l'organisme.** (C. R. Ac. Sc., 1902, 2.1128).

Voici les procédés très simples employés par l'auteur pour isoler le ferment, et pour démontrer que le ferment à lui seul n'est pas capable d'accomplir la réduction de l'acide carbonique ; mais que la présence du pigment chrorophyllien est nécessaire, celui-ci agissant sans doute comme sensibilisateur. « Je prépare, avec des feuilles lavées à l'eau distillée, un extrait glycériné contenant de l'eau et de la glycérine mêlées à volumes égaux. Avec du benzène, on peut retirer de ces extraits l'agent de l'assimilation photosynthétique ; par évaporation du benzène, le ferment précipite sous forme d'une substance blanche fioconneuse et amorphe, finement réticulée.

Avec d'autres feuilles de la même plante, maintenues trois heures dans une étuve à sec à 100°, j'ai préparé une poudre verte très fine. Cette poudre contient les pigments chlorophylliens qui n'ont pas été altérés et le même ferment que la feuille vivante (plusieurs diatases supportent longtemps la température de 100°).

On peut extraire l'enzyme de cette poudre, comme de la feuille fraîche, au moyen de glycérine. On peut débarrasser complètement la poudre de son ferment par une série de lavages successifs, à la glycérine, puis à l'eau distillée.

L'appareil dont je me sert est très simple ; il est constitué par un vase de verre que je remplis, suivant les cas, d'eau distillée et de poudre de feuille desséchée à 100°, avec ou sans ferment, ou bien d'extrait glycériné seul ou additionné de poudre. J'y plonge un entonnoir renversé sur lequel je retourne une éprouvette graduée remplie du même liquide que le vase. J'expose ensuite l'appareil aux rayons solaires.

1° Le ferment (extrait glycériné) *seul* est incapable d'accomplir la photosyntèhse.

2° La poudre, débarrassée du ferment, seule est incapable d'accomplir la photosynthèse.

La photosynthèse a lieu immédiatement si l'on ajoute à cette poudre une petite quantité de ferment.

3° La poudre (ferment et pigment chlorophylliens), mise dans l'eau distillée, donne toujours un dégagement d'oxygène avec formation corrélative d'aldéhyde formique.

Ce dernier corps est mis facilement en évidence au moyen de codéine dissoute dans l'acide sulfurique (coloration rose violet).

Le dégagement gazeux a toujours été proportionnel à l'intensité des rayons lumineux.

La photosynthèse n'a lieu que si la feuille a été récoltée à un moment favorable. »

Macchiati. — **Nuovi fatti a conferma della fotosintesi fuori dell'organismo.** (Bull. Soc. bot. ital. Florence 1903, p. 196).

En janvier et février 1903, l'auteur n'avait obtenu que des résultats négatifs : il attribue cet insuccès à ce qu'à cette époque de l'année la température était trop basse.

En effet, quand la température devint favorable, il obtint des dégagements gazeux très nets en mélangeant 1 gr. de poudre avec 125 cm³ d'eau distillée.

Il obtint 1 1/2 cm³ de gaz avec *Taxus baccata.*
3 cm³ — *Hedera Helix.*
22 cm³ — *Acanthus mollis.*
25 cm³ — *Arum italicum*

Il a constaté que le dégagement gazeux augmentait avec la température : pour le *Ficus stipulata*, il n'y a de réaction que si la température ambiante dépasse 22° C.

La poudre, convenablement stérilisée, peut être conservée pendant plusieurs mois sans perdre son activité.

Avec l'*Orobanche*, l'auteur a obtenu un dégagement gazeux très appréciable, mais de beaucoup inférieur à celui que fournissent les autres plantes (plantes vertes) étudiées.

Gessard C. — **Sur la formation du pigment mélanique dans les tumeurs du cheval** (C. R. Ac. Sc. 4 mai 1903, p. 1086).

La tyrosine est le chromogène dont l'oxydation, sous l'influence de la tyrosinase, détermine la formation du pigment noir des tumeurs mélaniques du cheval, et l'on peut dire que la couleur de ces tumeurs, comme celle de la peau du nègre, est dûe à la même réaction qui fait l'encre de la Seiche et le noir de certains champignons (*Russula nigricans*, *R. mustelina*, etc.).

Labesse. — **Intoxications par des champignons en Maine-et-Loire** (*Anjou médical*, décembre 1902, 9 p. et 1 pl. coloriée).

Psalliota xanthoderma. Cette espèce est réellement vénéneuse : 300 grammes ingérés aux deux repas de midi et du soir ont provoqué dans l'après-midi une soif intense. Ce n'est que vers 3 heures du matin que sont survenues des nausées et de la faiblesse. Il n'y a eu ni vomissements, ni selles, ni coliques. On administra un purgatif et quelques tasses de thé, et ces légers accidents n'eurent aucune suite.

Amanita phalloides. Deux exemplaires s'étaient trouvés dans un plat de champignons comestibles. On administra, vingt-quatre heures après l'ingestion, un vomitif, un purgatif huileux ; et plus tard une potion opiacée et l'on pratiqua des piqûres de caféine. On obtint assez rapidement la guérison.

Faupin E., professeur d'Ecole normale. — **Les Champignons comestibles et vénéneux**, méthode pratique pour reconnaître les espèces dangereuses, avec 11 planches en 6 couleurs et de nombreuses figures (Nathan F., 1903, Paris).

Les gens qui s'empoisonnent par les champignons sont, le plus souvent, des ouvriers des villes, c'est-à-dire des gens qui ne lisent pas. Si l'on veut donc faire pénétrer dans les masses de saines notions de mycologie, on n'y arrivera qu'en s'adressant à elles dès l'enfance et en les instruisant dans les écoles. Or l'auteur, par ses fonctions de professeur dans une Ecole normale, est très en état de se rendre un compte exact des notions de mycologie que l'on peut introduire dans le programme sans trop étendre ou compliquer l'enseignement. Son traité sera un guide excellent pour les instituteurs. Il se borne à l'étude d'une soixantaine d'espèces. Il s'efforce d'être bien compris ; il revient sur les mêmes choses plusieurs fois, les répétant sous différentes formes, afin de les mieux faire saisir et de les mieux graver dans l'esprit de ses auditeurs. Il emploie souvent la méthode des clés dichotomiques, si commode et si répandue aujourd'hui dans les flores ; mais il n'en dissimule pas au lecteur les inconvénients et les dangers. « Les caractères botaniques de ces tableaux d'analyse, dit-il, sont des indications générales qui ont besoin d'être vérifiées et complétées en se reportant à la description détaillée de chaque espèce et aux planches. » Ses *tableaux comparatifs* mettent en opposition les espèces comestibles avec les espèces vénéneuses qui leur ressemblent le plus et avec lesquelles on pourrait les confondre. En regard de chaque tableau comparatif se trouve une planche coloriée où sont représentées les deux espèces à différencier, avec leurs caractères de ressemblance et de dissemblance.

Toutes ces figures coloriées sont bien faites : nous ne ferons exception que pour une seule figure, celle du *Cantharellus aurantiacus*, qui n'a évidemment pas sa teinte naturelle.

Nous approuvons complètement cet aphorisme (quoi qu'il soit peut-être discutable *in apicibus scientiæ*) : « Ne pas croire que la macération dans l'eau salée ou dans le vinaigre rende inoffensifs les champignons vénéneux. » Ce qui est bien certain, en effet, c'est qu'il est aussi dangereux de jouer avec des champignons vénéneux qu'avec des serpents à sonnettes ou avec des cobras.

Ce traité nous paraît, du reste, devoir servir non seulement aux instituteurs, mais encore à tous ceux qui, pressés par le temps, tels que les étudiants en pharmacie ou en médecine, désirent acquérir vite et facilement des connaissances limitées, mais nettes et précises.

Un vocabulaire des termes techniques employés dans l'ouvrage présente aussi son utilité. *R. Ferry.*

Spengler. — **Tuberkelbacillenzüchtung aus Bakterien gemischen und Formaldehyd Desinfection** (*Zeitschr. fur Hygiene*, 1903, p. 90). **Le bacille de la tuberculose débarrassé des autres espèces de bactéries et isolé à l'aide du formol.**

Le bacille de la tuberculose résiste si bien à l'action du formol que l'auteur a pu utiliser cette propriété pour le séparer des autres

espèces microbiennes et pour l'obtenir en cultures pures. Aussi l'auteur doute-t-il de l'efficacité du formol comme agent de désinfection contre la tuberculose.

WINOGRADSKY. — **CLOSTRIDIUM PASTORIANUM, seine morphologie und seine Eigenschaften als Buttersäureferment.** (Centralbl. f. Bakteriol, 1902, p. 43-54, avec une planche). **CLOSTRIDIUM PASTORIANUM, sa morphologie et ses propriétés comme ferment butyrique.**

L'auteur se livre à une étude plus complète du bacille qu'il a découvert en 1895, bacille capable d'assimiler l'azote atmosphérique. Cette espèce, qui se rapproche extrêmement du *Clostridium butyricum* et des amylobacter, présente cependant certains caractères particuliers tels que la différenciation de la cellule-mère en une capsule à spores (Sporenkapsel), son mode d'ouverture, la construction de la spore et son mode de germination. En modifiant les milieux de culture, l'auteur a pu entraver la formation des clostridies et celle des spores ; il a ainsi obtenu une race asporogène qui se distingue en outre, au point de vue physiologique, par l'affaiblissement de certaines propriétés (fermentation et assimilation de l'azote). Le bacille dégénère et périt même complètement dans les essais de culture faits en l'absence de l'air et en présence de peptone, d'asparagine ou d'ammoniaque ; par contre, il prospère dans les milieux privés d'aliments azotés. L'auteur donne des détails étendus sur la culture du microbe, sa dispersion dans le sol, ses caractères et les procédés à employer pour l'isoler. Il résulte de l'examen de divers sols que ce bacille fait défaut dans la Russie méridionale ; il y est remplacé par une autre espèce qui possède des propriétés analogues, mais qu'il est très difficile d'obtenir parfaitement pure. Par contre, dans le sol des environs de Paris il existe un bacille très voisin, qui constitue même une simple variété du *Cl. Pastorianum*.

L'auteur s'est livré aussi à une étude plus approfondie du bacille en tant qu'il agit comme ferment : ce qui le caractérise, c'est qu'il est un ferment butyrique, obligatoirement anaérobie, possédant la faculté de se passer d'azote combiné pour croître et produire cette fermentation. Si on laisse à part cette faculté, notre espèce se montre presque aussi sensible que les autres espèces à la qualité des aliments azotés dans les conditions habituelles de culture des ferments anaérobies. Comme produits gazeux, l'on a trouvé :

A. dans les cultures faites sans source d'azote : de l'acide butyrique, de l'acide acétique (formant ensemble 45 % du sucre décomposé), de l'acide lactique (des traces), un peu d'alcool (vraisemblablement de l'isobutylalcool).

B. dans les cultures faites avec de l'ammoniaque : les mêmes acides et en outre un peu de propylalcool.

Le Gérant, C. ROUMEGUÈRE.

Toulouse. — Imp. MARQUÈS et Cie, boulevard de Strasbourg, 22 et 24.